

**REKAYASA BUKAAN DAN PEMBAYANG
SEBAGAI STRATEGI PENGHEMATAN ENERGI
PADA GEDUNG LAYANAN BERSAMA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**JANITRA ERLANGGA
NIM. 145060501111041**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

REKAYASA BUKAAN DAN PEMBAYANG SEBAGAI STRATEGI PENGHEMATAN ENERGI PADA GEDUNG LAYANAN BERSAMA UNIVERSITAS BRAWIJAYA

SKRIPSI

PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



JANITRA ERLANGGA
NIM. 145060501111041

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 4 Juni 2018

Mengetahui,
Ketua Program Studi Sarjana Aritektur

Ir. Heru Sufianto, M.Arch.St., Ph.D.
NIP. 19650218 199002 1 001

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19740915 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Mei 2018



Janitra Erlangga

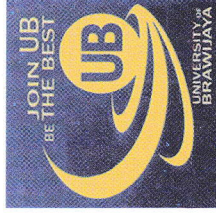
NIM 145060501111041

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 510 /UN10.F07.15/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

JANITRA ERLANGGA

Dengan Judul Skripsi :

**REKAYASA BUKAAN DAN PEMBAYANG SEBAGAI STRATEGI PENGHEMATAN ENERGI
PADA GEDUNG LAYANAN BERSAMA UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 30 Mei 2018



Ketua Jurusan Arsitektur

Dr. Eng. Herry Santosa, ST, MT
NIP. 19730525 200003 1 004

Ketua Program Studi S1 Arsitektur

Ir. Heru Sufianto, M.Arch, St, Ph.D
NIP. 19650218 199002 1 001




KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ARSITEKTUR

Jl. Mayjend Haryono No. 167 MALANG 65145 Indonesia
Telp. : +62-341-567486 ; Fax : +62-341-567486
<http://arsitektur.ub.ac.id> E-mail : arsftub@ub.ac.id

**LEMBAR HASIL
DETEKSI PLAGIASI SKRIPSI**

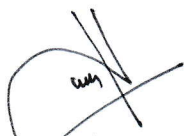
Nama : Janitra Erlangga
NIM : 145060501111041
Judul Skripsi : Rekayasa Bukaan dan Pembayang sebagai Strategi
Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama
Universitas Brawijaya
Dosen Pembimbing : Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.
Periode Skripsi : 2017/2018
Alamat Email : janitra.erlangga@gmail.com

Tanggal	Deteksi Plagiasi ke-	Plagiasi yang terdeteksi (%)	Ttd Staf LDTA
30 Mei 2018	1	3%	
	2		
	3		
	4		
	5		

Malang, 31 Mei 2018

Mengetahui,

Dosen Pembimbing



Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19740915 200012 1 001

Kepala Laboratorium
Dokumentasi Dan Tugas Akhir



Ir. Chairil Budiarto Amiuza, MSA
NIP.19531231 198403 1 009

Keterangan:

1. Batas maksimal plagiasi yang terdeteksi adalah sebesar 20%
2. Hasil lembar deteksi plagiasi skripsi dilampirkan bagian belakang setelah surat Pernyataan Orisinalitas



Untuk papa, mama & koko.

Untuk impian, harapan, serta usaha menuju masa depan.

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

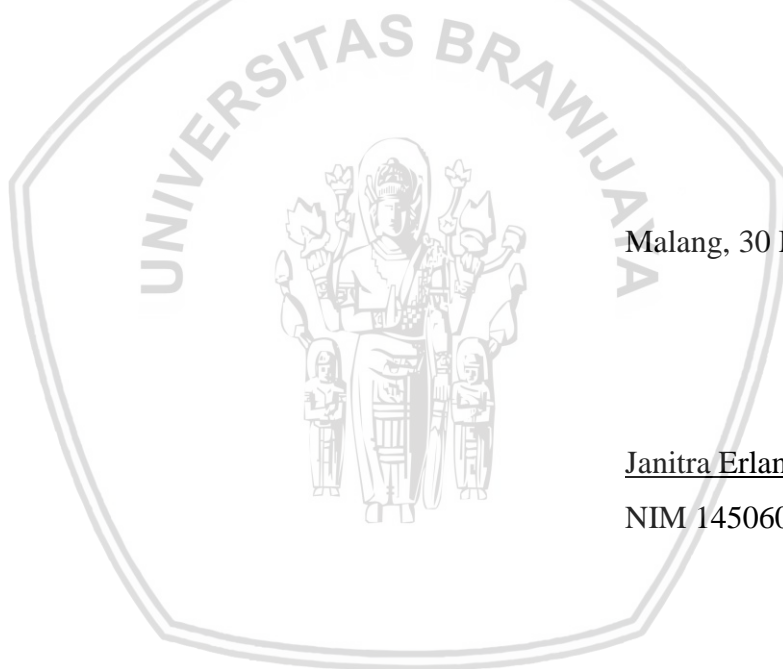
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Mei 2018

Janitra Erlangga

NIM 145060501111041



RINGKASAN

Janitra Erlangga, Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Rekayasa Bukaannya dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya*, Dosen Pembimbing : Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.

Dengan bertambahnya laju pertumbuhan penduduk dan lahan bangunan yang semakin berkurang, bangunan berlantai banyak dijadikan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan – permasalahan tersebut. Namun, penggunaan gedung berlantai banyak juga menimbulkan masalah – masalah baru didalam bangunan itu sendiri, seperti tereksposnya selubung bangunan terhadap radiasi dan cahaya matahari, yang secara langsung dapat memengaruhi tingkat konsumsi energi bangunan. Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya, sebagai salah satu bangunan berlantai banyak baru yang ada di kawasan Universitas Brawijaya, tidak lepas dari permasalahan tersebut. Bangunan ini memiliki bukaan – bukaan yang cenderung kecil, sehingga cahaya yang masuk kedalam bangunan cenderung tidak merata, terutama di ruangan – ruangan yang tidak berhubungan langsung dengan bukaan. Terlebih, bukaan tersebut tidak didukung dengan pembayang yang memadai, sehingga panas dan sinar matahari langsung dapat menembus bangunan, yang dapat menambah solar heat gain yang masuk kedalam bangunan. Oleh karena itu, dengan menggunakan program *Autodesk Insight* sebagai alat simulasinya, penelitian ini berusaha untuk mengubah bukaan dan pembayang eksisting bangunan dengan tujuan utama untuk dapat menghemat energi. baik dari lebih meratakan cahaya yang masuk kedalam bangunan, maupun dari mengurangi beban pendinginan yang masuk melalui bukaan. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan desain bukaan dan pembayang yang memperhatikan konsumsi energi bangunan, biaya energi bangunan dapat ditekan secara signifikan.

Kata kunci: gedung berlantai banyak, bukaan, pembayang, penghematan energi

SUMMARY

Janitra Erlangga, *Department of Architecture, Faculty of Engineering, Brawijaya University, May 2018, Modifying Opening and Shading as Energy Saving Strategy at Gedung Layanan Bersama Brawijaya University, Academic Supervisor: Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.*

Along with the increasing rate of human population and the decline of building space left, high-rise building becomes the solution to overcome those problems. But, high-rise building also has some problem within the building itself, such as, the building façade are highly exposed to sunlight and solar radiation that directly related to building's energy consumption. Gedung Layanan Bersama of Brawijaya University, one of the newer high-rise building in that campus area, is no exception. This building's openings are small, and that makes the sunlight can't be distributed well, especially around rooms that doesn't directly connected to the outdoor side. Furthermore, those opening doesn't have the necessary shading to block any direct sunlight going inside the building, increasing solar heat gain. Using Autodesk Insight as the simulation tool, this study tries to modify the building's existing opening and shading with energy saving as the main purpose. The approach used to achieve energy saving in this study are making the sunlight from the openings distributed more evenly, and also lowering the cooling load produced trough the openings. This study shows, opening and shading design that pay attention to building energy consumption, the energy cost can be lowered significantly.

Keywords: *high-rise building, opening, shading, energy saving*

PENGANTAR

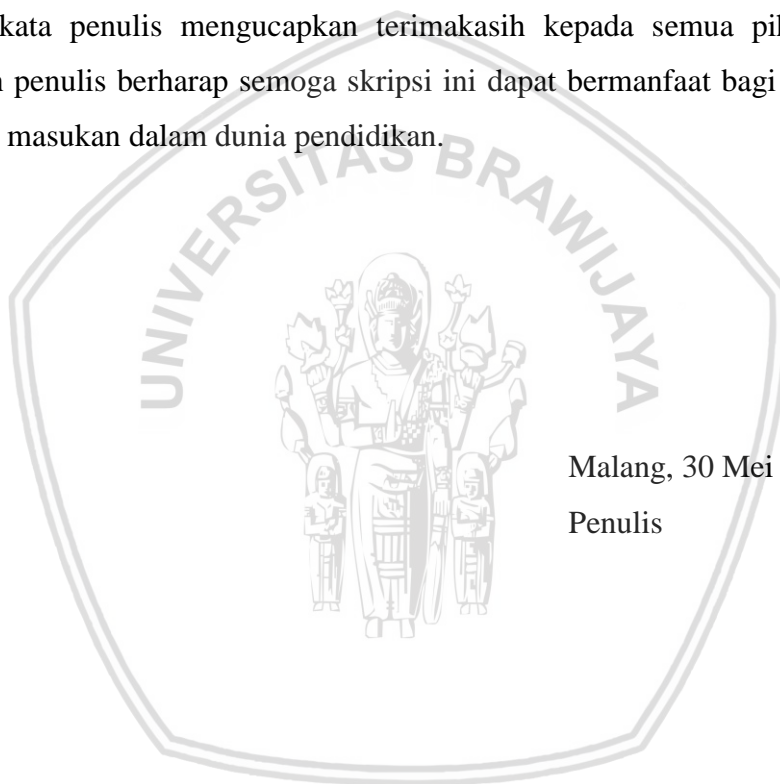
Puji syukur kepada Allah SWT. atas izin, rahmat, dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Rekayasa Bukaan dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya”.

Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST.) bagi mahasiswa program S-1 di Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Malang, 30 Mei 2018

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I LATAR BELAKANG	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
1.7 Sistematika Pembahasan.....	5
1.8 Kerangka Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Gedung Perkantoran Berlantai Banyak	8
2.2 Bukaannya dan Jenisnya	11
2.3 Pembayangan dan Jenisnya	12
2.4 Konsumsi dan Penghematan Energi pada Bangunan	14
2.5 Beban Pendinginan (<i>Cooling Load</i>)	16
2.5.1 Solar Heat Gain.....	17
2.5.2 Cahaya dan Radiasi Matahari	17
2.5.3 Energi & Kenyamanan Termal	18
2.6 Iluminasi & Kenyamanan Visual	20
2.7 Hubungan antara Bukaannya dan Pembayangan dengan Penghematan Energi .	21
2.7.1 Potensi Bukaannya dalam Penghematan Energi.....	22

2.7.2	Potensi Pembayang dalam Penghematan Energi	22
2.7.3	IKE (<i>Intensitas Konsumsi Energi</i>)	23
2.8	Simulasi dalam Penelitian.....	23
2.8.1	BIM (<i>Building Information Modeling</i>)	23
2.8.2	Autodesk Insight	24
2.9	Studi Terdahulu.....	24
2.10	Kerangka Teori.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		28
3.1	Metode Umum Penelitian	28
3.2	Tahapan Penelitian.....	29
3.3	Metode Pengumpulan Data.....	30
3.4	Variabel Penelitian.....	31
3.5	Metode Pengukuran Data.....	31
3.6	Metode Analisis Data	32
3.7	Instrumen Penelitian	41
3.8	Kerangka Metode.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1	Kondisi Iklim Kota Malang	44
4.2	Gambaran Umum dan Kondisi Bangunan di Universitas Brawijaya	45
4.3	Gambaran Umum Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya.....	47
4.3.1	Kondisi Lingkungan Sekitar Gedung Layanan Bersama	48
4.3.2	Kondisi Bangunan Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya ..	49
4.4	Proses Pengumpulan Data	52
4.4.1	Penentuan Sampel Pengumpulan Data pada Bangunan.....	52
4.4.2	Pengumpulan Data Fisik Bangunan	53
4.4.3	Pengumpulan Data Pencahayaan dan Suhu Bangunan	59
4.5	Proses Pengolahan Data.....	62

4.5.1	Proses Pembuatan Model Bangunan.....	62
4.6	Proses Simulasi Bangunan.....	65
4.6.1	Validasi <i>Software</i> Simulasi Bangunan.....	65
4.6.2	Parameter Modifikasi Bangunan.....	66
4.6.3	Modifikasi Bukaannya.....	70
4.6.4	Modifikasi Pembayang	88
4.6.5	Modifikasi Material	91
4.7	Modifikasi Tata Lampu	93
4.8	Proses Perhitungan Biaya	103
4.9	Rekomendasi Desain	105
BAB V	PENUTUP.....	109
5.1	Kesimpulan.....	109
5.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		112
LAMPIRAN		113

DAFTAR GAMBAR

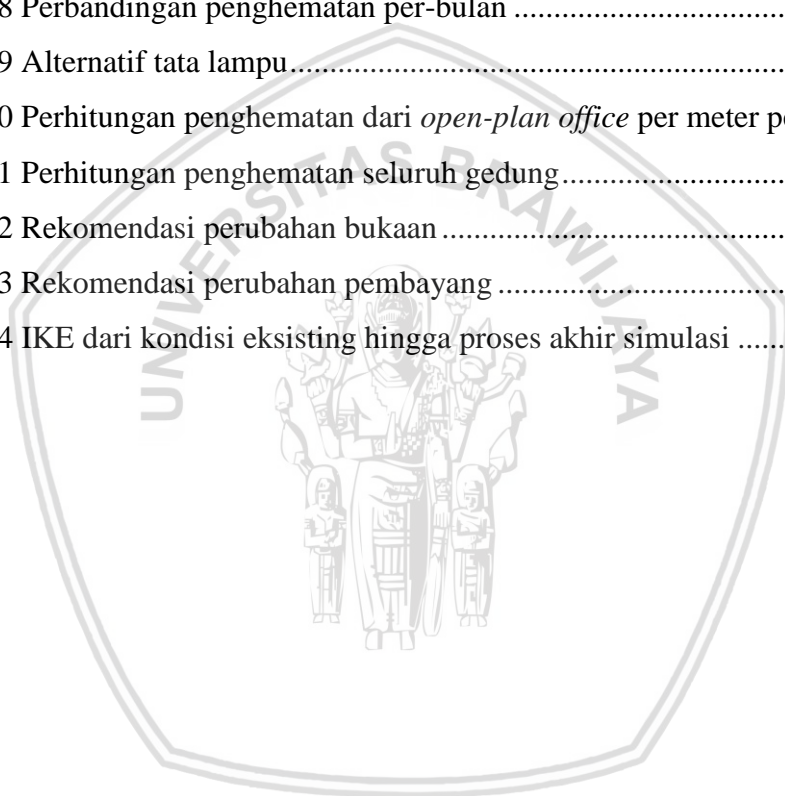
Gambar 2. 1 Kantor Terbuka	8
Gambar 2. 2 Kantor Tertutup	9
Gambar 2. 3 Ruang Pertemuan	9
Gambar 2. 4 <i>Sidelighting</i> pada bangunan	11
Gambar 2. 5 <i>Toplighting</i> pada bangunan	12
Gambar 2. 6 Beberapa jenis <i>Toplighting</i>	12
Gambar 2. 7 Jenis dan Bentuk Pembayang	14
Gambar 2. 8 Proporsi konsumsi energi pada bangunan di iklim tropis	15
Gambar 2. 9 Sumber panas yang masuk kedalam perhitungan beban pendinginan	16
Gambar 2. 10 Panas yang masuk melalui bukaan	17
Gambar 2. 11 Peta radiasi Matahari	18
Gambar 2. 12 Kaitan antara isu keberlanjutan, energi, dan matahari	21
Gambar 2. 13 Tiga tingkatan pendinginan bangunan	22
Gambar 2. 14 Kerangka Teori	27
 Gambar 3. 1 Pengaturan lokasi	 34
Gambar 3. 2 Jendela pengaturan simulasi pencahayaan	35
Gambar 3. 3 Jendela pengaturan simulasi energi	37
Gambar 3. 4 Grafik alur simulasi	40
Gambar 3. 5 Kerangka metode penelitian	43
 Gambar 4. 1 Jarak antara objek studi dan stasiun klimatologi terdekat	 44
Gambar 4. 2 Tata letak gedung di Universitas Brawijaya	45
Gambar 4. 3 Gedung – gedung berantai banyak di Universitas Brawijaya	46
Gambar 4. 4 Gedung Layanan Bersama	47
Gambar 4. 5 Area Drop-off	48
Gambar 4. 6 Lokasi bangunan gedung layanan bersama	49
Gambar 4. 7 Selubung Bangunan	50
Gambar 4. 8 Denah Lantai 1	51
Gambar 4. 9 Denah Lantai 3	51
Gambar 4. 10 Jendela pada sisi utara bangunan	52
Gambar 4. 11 Ruangan pada bangunan yang digunakan untuk pengumpulan data	53

Gambar 4. 12 Hasil pengukuran fisik pada lantai 1	54
Gambar 4. 13 Hasil pengukuran fisik pada lantai 3	55
Gambar 4. 14 Posisi bukaan terhadap gedung.....	56
Gambar 4. 15 Material selubung bangunan.....	58
Gambar 4. 16 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 1 pukul 09.00	59
Gambar 4. 17 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 3 pukul 09.00	59
Gambar 4. 18 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 1 pukul 12.00	60
Gambar 4. 19 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 3 pukul 12.00	60
Gambar 4. 20 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 1 pukul 15.00	61
Gambar 4. 21 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 3 pukul 15.00	61
Gambar 4. 22 Model 3D Gedung Layanan Bersama	65
Gambar 4. 23 Hasil tes regresi analisis Green Building Studio	66
Gambar 4. 24 Kontur cahaya alternatif 1 pada 21 Maret	71
Gambar 4. 25 Kontur cahaya alternatif 2 pada 21 Maret	72
Gambar 4. 26 Kontur cahaya alternatif 3 pada 21 Maret	73
Gambar 4. 27 Kontur cahaya alternatif 1 pada 21 Juni	75
Gambar 4. 28 Kontur cahaya alternatif 2 pada 21 Juni	76
Gambar 4. 29 Kontur cahaya alternatif 3 pada 21 Juni	77
Gambar 4. 30 Kontur cahaya alternatif 1 pada 23 September.....	79
Gambar 4. 31 Kontur cahaya alternatif 2 pada 23 September.....	80
Gambar 4. 32 Kontur cahaya alternatif 3 pada 23 September.....	81
Gambar 4. 33 Kontur cahaya alternatif 1 pada 22 Desember.....	83
Gambar 4. 34 Kontur cahaya alternatif 2 pada 22 Desember.....	84
Gambar 4. 35 Kontur cahaya alternatif 3 pada 22 Desember.....	85
Gambar 4. 36 Grafik perbandingan performa alternatif bukaan	87
Gambar 4. 37 Tata lampu eksisting beserta ruang yang dimodifikasi	94
Gambar 4. 38 Perbandingan tata lampu eksisting dengan rekomendasi desain	102
Gambar 4. 39 Double fixture (kiri) dan single fixture (kanan)	103
Gambar 4. 40 Bukaan dan Pembayang hasil dari rekomendasi desain	106
Gambar 4. 41 Tata lampu yang direkomendasikan	107
Gambar 4. 42 IKE dari kondisi eksisting hingga proses akhir simulasi.....	108
Gambar 4. 43 Tampak bangunan hasil rekomendasi desain	108

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tingkat pencahayaan pada ruang kantor yang direkomendasikan	20
Tabel 2. 2 Studi terdahulu yang menjadi salah satu acuan pengerjaan penelitian...	26
 Tabel 3. 1 Variabel Penelitian	 31
 Tabel 4. 1 Tabel tipologi gedung berlantai banyak di Universitas Brawijaya.....	 46
Tabel 4. 2 Ilustrasi dan keterangan jendela.....	56
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran suhu pukul 09.00	60
Tabel 4. 5 Hasil pengukuran suhu pukul 12.00	61
Tabel 4. 6 Hasil pengukuran suhu pukul 15.00	62
Tabel 4. 7 Tabel spesifikasi bahan.....	63
Tabel 4. 8 Tabel batasan modifikasi bukaan	67
Tabel 4. 9 Tabel besaran bukaan yang akan diterapkan kedalam bangunan	68
Tabel 4. 10 Tabel perbandingan OHR di tiap – tiap orientasi bukaan.....	69
Tabel 4. 11 Skenario simulasi bukaan	70
Tabel 4. 12 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 21 Maret.....	71
Tabel 4. 13 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 21 Maret.....	72
Tabel 4. 14 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 21 Maret.....	73
Tabel 4. 15 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 21 Maret	74
Tabel 4. 16 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 21 Juni.....	75
Tabel 4. 17 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 21 Juni.....	76
Tabel 4. 18 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 21 Juni.....	77
Tabel 4. 19 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 21 Juni.....	78
Tabel 4. 20 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 23 September	79
Tabel 4. 21 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 23 September	80
Tabel 4. 22 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 23 september.....	81
Tabel 4. 23 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 23 September	82
Tabel 4. 24 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 22 Desember	83
Tabel 4. 25 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 22 Desember	84
Tabel 4. 26 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 22 Desember	85
Tabel 4. 27 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 22 Desember	86
Tabel 4. 28 Perbandingan rata – rata performa alternatif bukaan.....	87

Tabel 4. 29 Alternatif bukaan terpilih	88
Tabel 4. 30 Spesifikasi model simulasi energi	89
Tabel 4. 31 Skenario perubahan pembayang.....	89
Tabel 4. 32 Panjang pembayang tiap – tiap jenis bukaan di semua (dalam cm)	90
Tabel 4. 33 Hasil simulasi energi pada modifikasi pembayang	90
Tabel 4. 34 Alternatif pembayang terpilih	90
Tabel 4. 35 Pengaruh jenis material terhadap IKE (kWh/m ² /tahun)	91
Tabel 4. 36 Tabel harga material kaca.....	92
Tabel 4. 37 Tabel biaya material total	93
Tabel 4. 38 Perbandingan penghematan per-bulan	93
Tabel 4. 39 Alternatif tata lampu.....	94
Tabel 4. 40 Perhitungan penghematan dari <i>open-plan office</i> per meter persegi	95
Tabel 4. 41 Perhitungan penghematan seluruh gedung.....	99
Tabel 4. 42 Rekomendasi perubahan bukaan	106
Tabel 4. 43 Rekomendasi perubahan pembayang	106
Tabel 4. 44 IKE dari kondisi eksisting hingga proses akhir simulasi	107



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern ini, semakin banyak bangunan dan infrastruktur yang dibutuhkan oleh masyarakat. Hal tersebut berbanding terbalik dengan lahan bangunan yang dapat digunakan. Dengan berkurangnya lahan – lahan bangunan, maka banyak bangunan yang dibangun secara vertikal, untuk menghemat lahan yang digunakan. Bangunan vertikal ini mencakup fungsi – fungsi seperti residensial, komersial / perbelanjaan, dan termasuk pula perkantoran. Namun dengan semakin banyaknya bangunan berlantai banyak yang dibangun, juga muncul beberapa permasalahan khusus dari bangunan – bangunan tersebut. Permasalahan tersebut antara lain seperti tereksposnya seluruh selubung bangunan terhadap pengaruh – pengaruh alam seperti matahari, angin, hujan, dan lain – lain, yang disebabkan oleh ketinggian bangunan sehingga tidak ada *buffer* yang dapat menghalangi pengaruh – pengaruh alam tersebut. Adanya permasalahan itu sangat berpengaruh terhadap tingkat konsumsi energi bangunan, seperti banyaknya *solar heat gain* yang masuk, sehingga energi yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu bangunan sangat bertambah banyak.

Dalam konteks bangunan, untuk dapat mengurangi konsumsi energi dalam siklus bangunan, terdapat banyak pendekatan – pendekatan cara yang dapat dilakukan. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengurangi penggunaan alat – alat yang menggunakan energi dalam masa pemakaian bangunan, dan lebih bergantung pada pemanfaatan sumber – sumber energi alami disekitar dan mencari cara untuk memanfaatkan lingkungan maupun iklim, termasuk penggunaan cahaya matahari dan angin untuk membantu sistem pencahayaan dan penghawaan dalam bangunan. Agar sebuah bangunan dapat secara efektif memanfaatkan hal – hal tersebut, maka rekayasa terhadap elemen – elemen yang berkaitan dengan pencahayaan dan penghawaan alami, seperti bukaan dan pembayang akan sangat berpengaruh.

Di Indonesia, kini terdapat banyak gedung perkantoran berlantai banyak, terutama di kota – kota metropolitan seperti di Jakarta dan Surabaya, dan tidak terkecuali di Malang. Secara geografis, Kota Malang terletak sekitar 440 hingga 667 meter diatas permukaan laut. Keadaan tersebut membuat Kota Malang termasuk kota yang berada di dataran tinggi. Kota Malang diapit oleh beberapa gunung di sekelilingnya, antara lain ialah Gunung Arjuno di sebelah utara, Gunung Semeru di sebelah timur, Gunung Kawi dan Gunung Panderman di

sebelah barat, dan Gunung Kelud di sebelah selatan. Secara iklim, pada tahun 2008, Kota Malang memiliki suhu udara rata – rata yang berkisar antara $22,7^{\circ}\text{C}$ – $25,1^{\circ}\text{C}$, dengan suhu maksimum $32,7^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimum $18,4^{\circ}\text{C}$.

Menurut jumlah penduduknya, Kota Malang merupakan kota terbesar kesepuluh di Indonesia. Dengan banyaknya penduduk di Kota Malang, laju perkembangan kota bisa dibilang cukup cepat. Hal tersebut membuat Kota Malang memiliki beberapa Gedung – gedung berlantai banyak. Namun, kebanyakan gedung berlantai banyak di Kota Malang ini memiliki fungsi sebagai tempat tinggal / tempat istirahat, mulai dari Soekarno Hatta Apartment yang memiliki 17 lantai, hingga Swiss-Bell Inn Malang, Ibis Styles Hotel, dan Aria Gajayana Hotel yang masing – masing memiliki 12 lantai. Selain itu, bangunan apartemen baru yaitu Malang City Point Apartment menjadi bangunan tertinggi di Kota Malang, dengan memiliki 19 lantai di tiap – tiap sayapnya.

Laju perkembangan pembangunan juga terjadi di Universitas Brawijaya. Pada beberapa tahun terakhir, terdapat banyak pembangunan – pembangunan gedung baru, serta perombakan gedung – gedung lama. Pembangunan gedung – gedung baru seperti gedung perkuliahan FIA, FILKOM, Gedung Layanan Bersama, dan lain – lain ini memiliki beberapa tujuan, dan salah satu diantaranya adalah untuk menambah fasilitas dan kapasitas tampung di Universitas Brawijaya. Pembangunan – pembangunan tersebut seharusnya mencerminkan Rencana Strategis UB (2015-2019) untuk Menuju Universitas Brawijaya Berdaya Saing Asia. Diantara gedung – gedung yang baru didirikan di Universitas Brawijaya, Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya ini bersinggungan langsung dengan 2 poin yang terdapat di Renstra UB tersebut. Poin pertama adalah “Pengembangan unit layanan penunjang *Entrepreneurial University*” pada rencana peningkatan kualitas kelembagaan dan kerjasama. Sedangkan poin yang kedua berada dalam rencana peningkatan akses dan pemerataan pendidikan yang berusaha diterapkan di Universitas Brawijaya, pada poin “Pengembangan sarana dan prasarana Kampus UB menuju Green Campus”. Indikator – indikator untuk program pengembangan tersebut antara lain adalah: Jumlah unit gedung dengan sarana/prasarana Smart Building, Persentase unit sarana/prasarana Pengelolaan Limbah dan Air Terintegrasi termasuk kegiatan perencanaan, serta Jumlah unit gedung dengan sistem efisiensi energi listrik.

. Gedung Layanan Bersama merupakan suatu wadah dari beberapa instansi di Universitas Brawijaya, termasuk LP3-M, LPP-M, BUA, BUNA, International Office dan lain – lain. Bangunan ini memiliki 10 lantai dan 1 lantai basement, dengan lantai 1 – 8 difungsikan sebagai gedung perkantoran untuk beberapa instansi yang sudah disebutkan

sebelumnya, sedangkan lantai 9 – 10 masih dalam kondisi belum ditempati. Bangunan ini memiliki orientasi yang condong ke arah timur laut, sehingga sedikit banyak hampir semua sisi pada bangunan terekspos sinar matahari. Secara material, Gedung Layanan Bersama memiliki bahan selubung dinding plester, kaca, dan ACP (*Aluminium Composite Panel*).

Gedung Layanan Bersama, sebagai gedung yang digunakan oleh berbagai macam instansi Universitas Brawijaya, melayani baik urusan internal maupun eksternal kampus. Urusan internal yang diurus didalam Gedung Layanan Bersama ini merupakan urusan tingkat kampus secara keseluruhan, tidak hanya melayani fakultas – fakultas spesifik saja. Sedangkan untuk urusan eksternal yang diurus didalam gedung ini salah satunya termasuk menjalin koneksi luar negeri dengan Universitas Brawijaya, di bagian International Office. Oleh karena itu, gedung ini memiliki peran yang sangat penting didalam kampus, juga sebagai *hub* dari luar ke dalam kampus. Peran bangunan tersebut menyebabkan tuntutan akan kenyamanan didalam termasuk tinggi.

Dari observasi awal dan wawancara terhadap penggunaan bangunan yang dilakukan di bangunan ini, terdapat beberapa permasalahan yang dapat diambil di Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya, antara lain: Penggunaan lampu didalam bangunan mulai dari pagi hari, yang disebabkan oleh cahaya alami yang kurang, seperti pada koridor pemisah ruang – ruang kerja dan ruang rapat di lantai 3, dimana ruang tersebut tidak berbatasan langsung dengan ruang luar. Selain itu, juga dengan kurangnya *shading* yang ada di sisi utara bangunan, sehingga terdapat *glare* berlebihan yang masuk kedalam ruangan kantor LP3-M di lantai 3. Masuknya *glare* itu memaksa pengguna ruang kantor untuk memasang kaca film pada dinding utara di ruang kantor LP3-M. Penggunaan kaca film tersebut juga merupakan salah satu penyebab penggunaan lampu berlebih pada pagi dan siang hari.

Dengan beberapa permasalahan yang ditemukan di Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menunjang rencana strategis UB, serta untuk menemukan solusi desain yang tepat yang sekiranya dapat membantu penghematan energi yang dipakai oleh Gedung ini, tanpa mengurangi kenyamanan pengguna yang ada didalamnya. Penghematan tersebut akan dilakukan dengan melakukan rekayasa terhadap bukaan dan pembayang.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan diatas, terdapat beberapa permasalahan yang muncul, antara lain:

1. Bukaannya pada bangunan yang tidak dapat memaksimalkan terang langit dari matahari, sehingga pencahayaan didalam bangunan tidak merata dan terdapat titik – titik gelap.
2. Tidak adanya pembayang pada bangunan, sehingga pengguna bangunan terpaksa menambahkan kaca film dan gordena agar panas dan silau tidak masuk kedalam bangunan.
3. Penggunaan lampu berlebih pada pagi dan siang hari, namun di sisi lain terdapat potensi penghematan energi melalui penggunaan pencahayaan alami.

1.3 Rumusan Masalah

Dari permasalahan yang telah diidentifikasi sebelumnya, terdapat hal yang akan dibahas di penelitian ini, yaitu: Bagaimana cara melakukan penghematan energi dengan merencanakan bukaan dan pembayang pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya Kota Malang?

1.4 Batasan Masalah

Selama proses penelitian ini, terdapat batasan – batasan yang diterapkan agar selama pengerjaan penelitian, subjek yang dibahas sesuai dengan permasalahan dan tidak melenceng. Batasan – batasan tersebut antara lain:

1. Elemen bangunan yang akan direncanakan hanyalah bukaan dan pembayang pada bangunan.
2. Aspek yang diperhitungkan dalam penghematan energi ini adalah pemaksimalan pencahayaan alami dan pengurangan beban pendinginan pada bangunan.
3. Beban pendinginan yang dihitung adalah beban pendinginan yang disebabkan oleh pengaruh cahaya matahari.
4. Dasar ilmu yang digunakan selama penelitian bangunan ini adalah teori sains dan teknologi bangunan, dengan pendekatan arsitektur hemat energi dan bangunan pintar.
5. Objek yang diteliti adalah Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya Kota Malang, sedangkan pengambilan data dilakukan pada lobby lantai 1 dan kantor LP3-M pada lantai 3.

6. Metode yang digunakan adalah rekayasa elemen - elemen bangunan menggunakan *software* simulasi.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari solusi dari permasalahan – permasalahan pada gedung yang sudah dijelaskan sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini adalah: Untuk memberikan rekomendasi desain di elemen bukaan maupun pembayang pada bangunan sebagai bentuk penghematan energi.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu manfaat teoritis dan manfaat praktis, yaitu:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sebuah kontribusi kepada ilmu pengetahuan pada umumnya, dan khususnya pada ilmu pada bidang arsitektur hemat energi dan arsitektur bangunan pintar.

2. Manfaat Praktis

Sebagai sebuah rekomendasi desain untuk penghematan energi bangunan bagi pemilik bangunan yaitu Universitas Brawijaya.

1.7 Sistematika Pembahasan

BAB I : PENDAHULUAN

Bab I merupakan bab pendahuluan yang berisi latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika pembahasan dan kerangka penelitian. Latar belakang mencoba menggali isu – isu awal yang memicu dilakukannya penelitian ini, sekaligus memperjelas mengapa objek penelitian tersebut dipilih untuk diteliti. Setelah itu, masalah – masalah yang tercantumkan di latar belakang diperjelas lagi pada sub-bab identifikasi masalah, yang lalu diringkas pada rumusan masalah. Pada poin selanjutnya, yaitu batasan masalah, diperlukan untuk mengerucutkan penelitian agar lebih terfokus dan tidak melenceng dari tujuan penelitian yang dijelaskan pada sub-bab selanjutnya. Kemudian setelah mencantumkan tujuan penelitian, manfaat dari penelitian itu sendiri ditarik agar peran dari penelitian yang akan dilakukan lebih jelas. Sistematika pembahasan dimasukkan setelah manfaat penelitian, yang

lalu diikuti dengan kerangka penelitian agar alur pikir dari penelitian ini dapat diterima dengan jelas.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi teori – teori maupun standar – standar yang nanti dijadikan landasan dalam pengumpulan dan analisis data. Teori serta standar yang dicantumkan pada bab ini adalah teori dan jurnal yang berhubungan langsung dengan penelitian yang akan dilakukan. Teori beserta standar yang diambil dan dijadikan dasar bersumber dari buku – buku literatur, jurnal ilmiah terkini, maupun dari peraturan – peraturan dan regulasi pemerintah, sehingga kredibilitas dari teori dan standar yang digunakan dapat dipertanggungjawabkan. Selanjutnya, penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, baik dari jenis objek, metodologinya, maupun dari pendekatan – pendekatan lainnya. Studi terdahulu juga dapat menjadi acuan dalam melaksanakan penelitian ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab metode penelitian, berisi tentang penjabaran teknis penelitian baik mulai dari metode umum penelitian, tahap pengumpulan data, pengukuran data, hingga proses analisis data dan sintesis. Variabel – variabel yang digunakan, termasuk variabel dependen dan independen juga dijelaskan disini beserta korelasinya. Pada bab ini juga berisi instrumen – instrumen apa saja yang dipakai selama jalannya penelitian. Instrumen – instrumen itu meliputi peralatan pada saat pengambilan dan pengukuran data, hingga *software* yang digunakan pada saat analisis data.

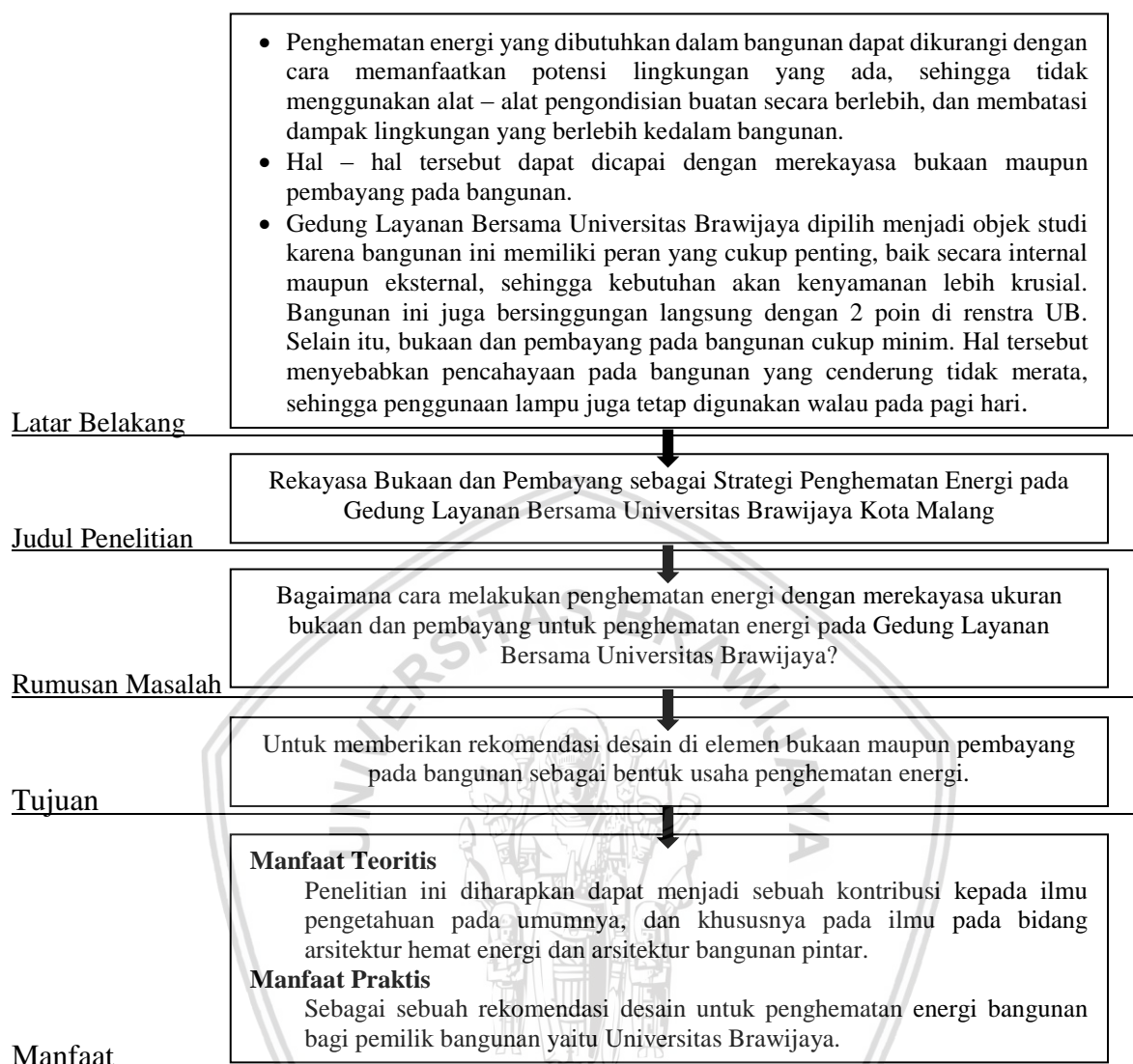
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV mencakup hasil dan pembahasan dari penelitian ini. Hasil dan pembahasan berisi hasil data yang telah dikumpulkan, diolah, dan dianalisis. Bab IV disini merupakan inti dari penelitian yang berusaha menjabarkan semua temuan – temuan selama penelitian itu berlangsung.

BAB V : KESIMPULAN & SARAN

Keseluruhan dari analisis yang dihasilkan pada bab sebelumnya disimpulkan pada bab V ini. Kesimpulan ini juga diharuskan untuk menjadi jawaban atas permasalahan yang ditentukan pada awal penelitian. Kesimpulan diuraikan secara deskriptif. Sedangkan pada saran, berisi tentang masukan yang ditujukan kepada penelitian – penelitian sejenis.

1.8 Kerangka Penelitian



Gambar 1. 1 Kerangka Penelitian

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gedung Perkantoran Berlantai Banyak

Kantor merupakan sebuah sebutan untuk tempat perniagaan atau perusahaan yang dijalankan secara rutin. Secara umum, gedung perkantoran dapat dibangun hampir di semua kondisi dan lokasi. Namun agar kinerja pengguna ruang lebih efektif dan efisien, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi. Landasan – landasan tersebut mencakup landasan hukum, teknis, maupun standar – standar SNI yang harus dipenuhi. Fleksibilitas ruang maupun keamanan juga dijadikan sebagai persyaratan gedung perkantoran.

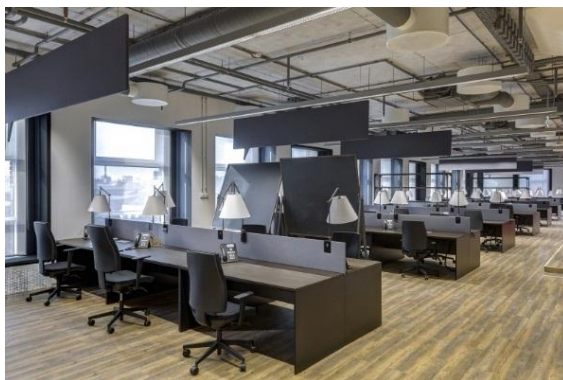
Pada sebuah gedung perkantoran, ruangan – ruangnya dapat dibagi menjadi beberapa kategori besar, yaitu:

1. Ruangan Kerja (*Work Spaces*)

Ruangan kerja digunakan untuk melaksanakan pekerjaan – pekerjaan kantor pada umumnya, seperti membaca, menulis, maupun melakukan pekerjaan dengan komputer. Ruangan kerja juga memiliki bermacam – macam jenis layout, seperti:

a. Kantor Terbuka

Kantor jenis ini bisa juga disebut *Open Office*, yang dalam suatu ruang besar ditempati oleh sebuah tim, tanpa adanya pembatas di tiap – tiap pekerjaannya. Kantor jenis ini biasanya digunakan pada kantor yang membutuhkan banyak komunikasi diantara pekerjaannya, dan membutuhkan daya fokus yang relatif minimum.

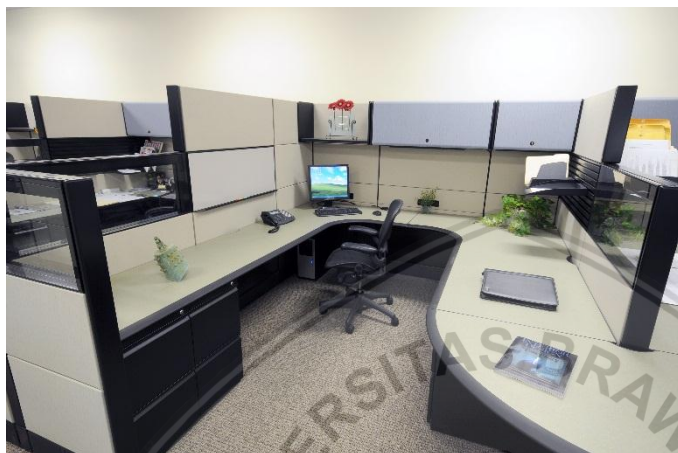


Gambar 2. 1 Kantor Terbuka

Sumber: <http://www.hpbmagazine.org/>

b. Kantor Tertutup

Kantor jenis ini memiliki banyak sekat yang membagi ruang kerja kedalam ruang – ruang kecil semi-permanen. *Cubicle* ini dapat dibagi per orang ataupun per tim kecil. Kantor tertutup ini biasanya digunakan pada kantor yang pekerjaannya membutuhkan daya fokus yang tinggi, sehingga dengan adanya *cubicle* ini dapat menurunkan potensi gangguan eksternal.



Gambar 2. 2 Kantor Tertutup

Sumber: <https://www.ethosource.com/>

2. Ruangan Pertemuan (*Meeting Spaces*)

Ruangan ini difungsikan untuk proses interaktif pada sebuah perkantoran, baik itu untuk *brainstorming* bagi pekerjaannya, maupun tempat untuk berdiskusi dengan klien dr perusahaan tersebut. Jenis ruang pertemuan hanya dibedakan dari ukurannya saja, yaitu kecil, sedang, dan besar.



Gambar 2. 3 Ruang Pertemuan

Sumber: <http://www.ritzcarlton.com/>

3. Ruang Pendukung (*Support Spaces*)

Ruangan jenis ini, pada sebuah gedung perkantoran memiliki fungsi sebagai fasilitas – fasilitas penunjang yang baik secara langsung ataupun tidak, dapat memudahkan pekerjaan pengguna gedung perkantoran tersebut. Fasilitas tersebut meliputi:

- a. Ruang Arsip
- b. Ruang Penyimpanan
- c. Ruang Dapur
- d. Ruang Istirahat
- e. Ruang Ganti
- f. Ruang Tunggu
- g. Ruang Sirkulasi

Dengan bertambahnya jenis perusahaan – perusahaan baru seiring dengan berkembangnya teknologi, kebutuhan akan gedung perkantoran akan terus meningkat. Hal tersebut dan kurangnya lahan yang diperuntukkan sebagai lahan perkantoran merupakan beberapa faktor banyak dikembangkannya gedung perkantoran berlantai banyak akhir – akhir ini. Gedung perkantoran berlantai banyak bisa dibangun oleh suatu perusahaan, dan digunakan secara eksklusif oleh perusahaan tersebut, atau dibangun sebagai sebuah gedung sewa yang nantinya per unit akan disewakan kepada perusahaan – perusahaan lain. Secara definisi, sebuah gedung yang dianggap sebagai gedung berlantai banyak adalah gedung yang berdiri menjulang lebih dari batas maksimal dari jangkauan alat pemadam kebakaran. Jika diangkakan, tinggi gedung tersebut setidaknya – tidaknya berkisar antara 35 meter hingga 100 meter, atau bangunan yang memiliki minimal 12 lantai, jika tinggi dari bangunan tersebut tidak diketahui (ESN 18727).

Sebagai sebuah gedung berlantai banyak, permasalahan – permasalahan yang dihadapi oleh gedung tersebut berbeda jika dibandingkan dengan gedung berlantai rendah. Gedung berlantai banyak, termasuk perkantoran, memiliki banyak permasalahan yang timbul dari ketinggian gedung itu sendiri, mulai dari aspek evakuasi bangunan, pemadaman kebakaran, efektifitas struktur, utilitas, maupun aspek – aspek lainnya, tidak terkecuali dengan masalah penggunaan energi didalam bangunan.

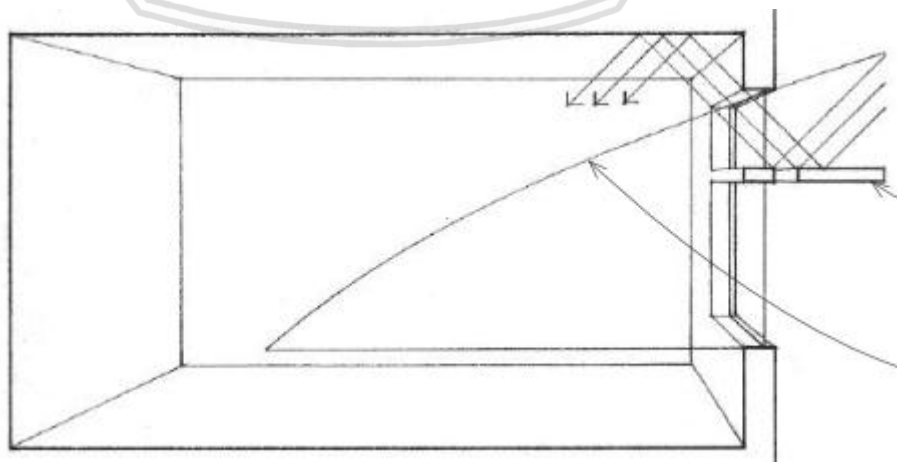
2.2 Bukaannya dan Jenisnya

Bukaan pada bangunan memiliki banyak tipe dan ukuran, dimana pemilihannya dapat memengaruhi tidak hanya tampilan fisik bangunan, namun juga memengaruhi pencahayaan alami, ventilasi, pemandangan dari dalam bangunan keluar, dan kualitas spasial pada interior sebuah bangunan. Seperti halnya pintu eksterior sebagai penghubung ruang luar dan ruang dalam, bukaan pada kondisi tertutup juga harus dapat mencegah masuknya perubahan yang disebabkan oleh cuaca secara berlebih. *Frame* pada bukaan harus memiliki konduktivitas termal yang rendah, atau dibangun agar dapat menghalangi mengalirnya panas kedalam bangunan. Sedangkan untuk kaca dari bukaan itu sendiri, harus dapat memperlambat transmisi panas dan mengontrol baik radiasi matahari maupun silau berlebih.

Jika dilihat dari peletakannya, yang memengaruhi masuknya cahaya kedalam bangunan, terdapat beberapa jenis bukaan yang umum digunakan pada bangunan, antara lain:

1. Bukaan Samping (*Sidelighting*)

Sidelighting merupakan sebuah sistem fenestrasi vertikal yang digunakan untuk memasukkan cahaya alami kedalam bangunan melalui sisi – sisi bangunan. Sesuai namanya, bukaan jenis ini terletak di sisi samping bangunan, dan biasanya menempel pada dinding. Karena peletakan bukaan jenis ini berada di samping, maka kinerjanya sangat dipengaruhi oleh baik peletakan maupun orientasinya. Pada iklim tropis, bukaan di sisi timur-barat bangunan dapat memasukkan lebih banyak silau ataupun *glare*, sedangkan bukaan yang diletakkan pada sisi utara-selatan bangunan secara garis besar dapat memasukkan terang langit secara merata tanpa memasukkan *glare* berlebih.



Gambar 2. 4 *Sidelighting* pada bangunan
Sumber: Ching, 2014 (p. 27)

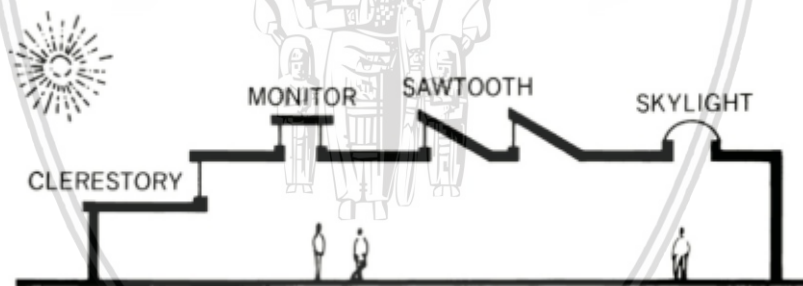
2. Bukaan Samping (*Casement*)

Toplighting merupakan sebuah sistem fenestrasi yang memanfaatkan atap atau langit – langit sebagai sumber masuknya cahaya matahari kedalam bangunan.



Gambar 2. 5 *Toplighting* pada bangunan
Sumber: Lechner, 2015 (p. 414)

Seperti pada gambar diatas, penggunaan toplighting pada bangunan dapat meratakan masuknya cahaya kedalam bangunan, sehingga penggunaan jenis bukaan ini cocok diterapkan pada ruangan – ruangan yang luas seperti gudang / auditorium, maupun ruangan – ruangan yang panjang pada satu sisi, seperti lorong ataupun koridor. Namun, penggunaan bukaan toplighting hanya dapat dilakukan apabila ruangan tersebut berada di lantai teratas atau berada di gedung yang berhubungan langsung dengan atap.



Gambar 2. 6 Beberapa jenis *Toplighting*
Sumber: Lechner, 2015 (p.414)

2.3 Pembayang dan Jenisnya

Pembayang, atau *shading*, melindungi bukaan dan area transparan lainnya pada bangunan dari sinar matahari langsung untuk mengurangi silau dan panas matahari berlebih pada cuaca hangat. Efektifitas dari pembayang itu sendiri tergantung dari bentuk dan orientasi terhadap posisi matahari. Peletakan dari pembayang itu juga sangat memengaruhi efisiensi dari pembayang. Pembayang eksternal seperti tampias lebih efektif daripada pembayang internal seperti tirai, karena pembayang eksternal menghadang radiasi matahari sebelum sinar tersebut mengenai dinding bangunan dan bukaan – bukaan pada bangunan.

Jika dilihat dari peletakkannya terhadap bangunan, pembayang dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Pembayang Internal

Fungsi utamanya sebagai pengontrol silau, menyediakan privasi, memfilter cahaya masuk secara langsung, dampak kurang efektif jika dibandingkan dengan pembayang eksternal.

2. Pembayang diantara Buka

Pembayangnya terproteksi dari angin dan hujan sehingga lebih tahan lama dibanding dengan pembayang eksternal, namun dikarenakan oleh terbatasnya akses, sulit dilakukan maintenance. Kelebihan lainnya adalah shading screen disini dapat menjadi layer tambahan sehingga dapat meningkatkan performa termal jendela.

3. Pembayang Eksternal

Pembayang eksternal ini memiliki nilai arsitektural tinggi, sangat efisien dalam menghadang radiasi matahari, namun cukup sulit dalam mengintegrasikan dalam bangunan secara fasad.

Sedang dari bentuknya, pembayang dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, yaitu:

1. Pembayang Horizontal

Pembayang horizontal ini dapat menghadang sinar matahari yang mengarah kearah bangunan secara langsung. Pembayang ini cocok untuk digunakan pada sisi barat – timur bangunan yang terkena sinar matahari langsung.

2. Kisi Horizontal

Pembayang jenis ini memiliki orientasi parallel dengan dinding, sehingga menyisakan ruang bagi udara untuk mengalir keatas bangunan, dan mengurangi panas konduktif yang masuk. Namun tingkat efisiensi menghadang cahaya masih kalah dengan pembayang horizontal karena kisi – kisi ini memiliki jarak yang dapat ditembus oleh sinar matahari.

3. Kisi Gantung

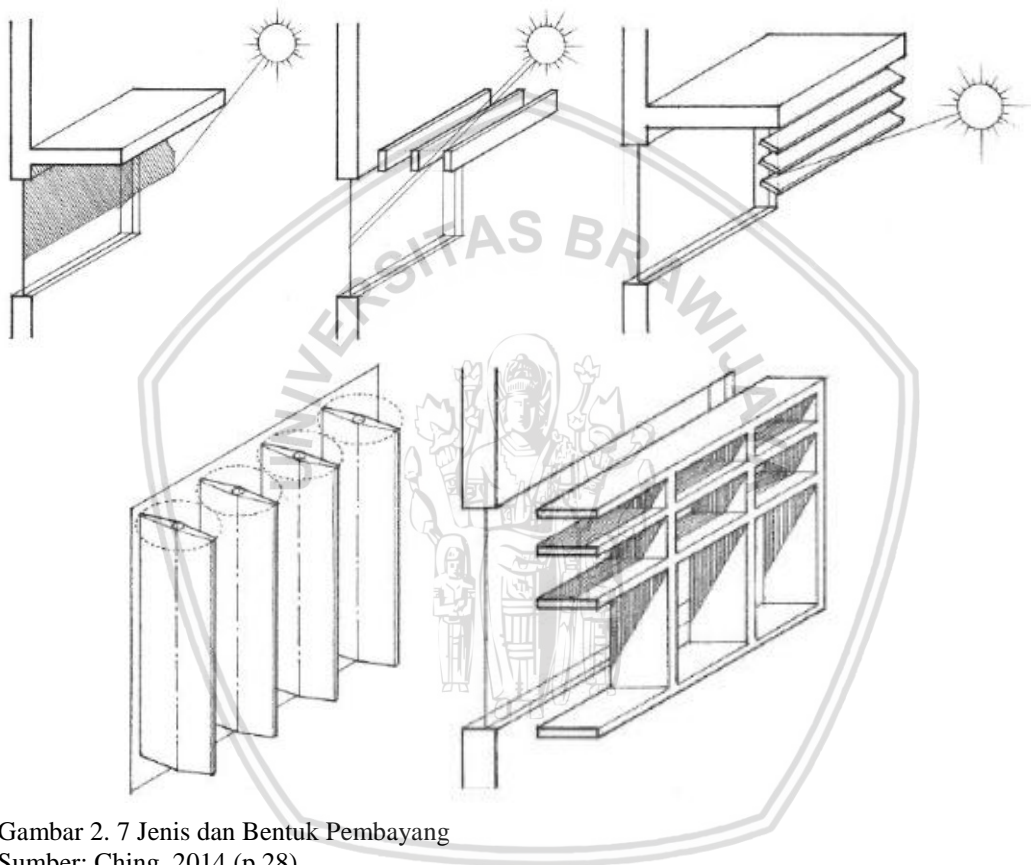
Sesuai dengan namanya, kisi ini dapat digantungkan pada pembayang horizontal maupun tepat diluar dinding. Pembayang jenis ini cocok untuk melindungi bangunan dari matahari yang bersudut rendah. Namun kelemahannya kisi gantung ini dapat menghalangi pandangan dari dalam keluar bangunan.

4. Pembayang Vertikal

Pembayang jenis ini cocok untuk diletakkan pada sisi utara – selatan bangunan, yang tidak secara langsung terkena sinar matahari. Namun, pembayang vertikal dapat menghalangi masuknya angin kedalam bukaan terkait.

5. Pembayang *Eggcrate*

Pembayang yang seringkali juga disebut sebagai *brise-soleil* ini menggabungkan karakteristik dari pembayang vertikal maupun horizontal, sehingga memiliki rasio pembayangan yang cukup besar. Pembayang ini sangat efisien di iklim panas.



Gambar 2. 7 Jenis dan Bentuk Pembayang
Sumber: Ching, 2014 (p.28)

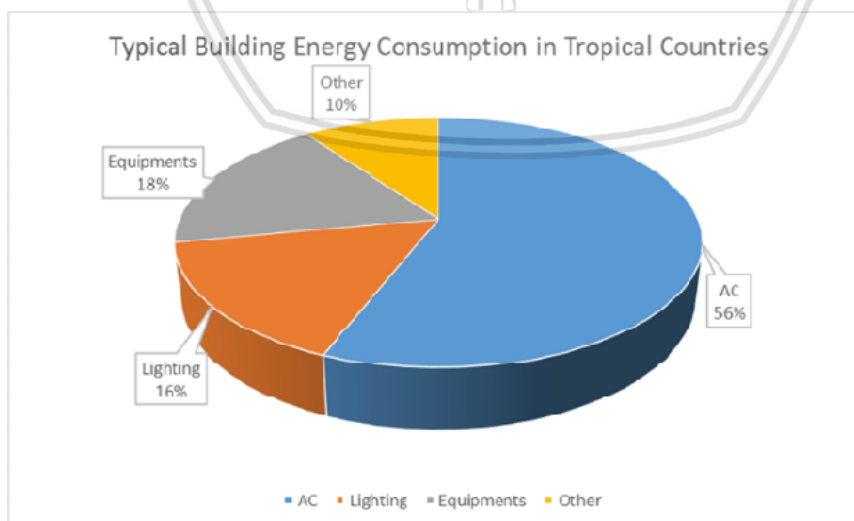
2.4 Konsumsi dan Penghematan Energi pada Bangunan

Konsumsi energi pada bangunan di negara berkembang memakan 20% - 40% dari total penggunaan energi negara. Bahkan, konsumsi energi pada bangunan di negara – negara Eropa maupun Amerika Serikat menyamai tingkat konsumsi energi dari industri maupun transportasi. Pembengkakan populasi, pengembangan servis didalam bangunan dan tingkat kenyamanan bangunan, beserta dengan bertambahnya waktu yang dihabiskan pengguna – penggunanya didalam bangunan, menjadi beberapa faktor mengapa tingkat konsumsi energi

pada bangunan meningkat hingga menyamai penggunaan energi di bidang industri dan transportasi. (Perez-Lombard et al., 2007).

Pertambahan konsumsi energi dan emisi CO₂ yang cukup pesat di lingkungan terbangun telah membuat efisiensi energi dan strategi penghematan energi sebagai sebuah prioritas di banyak negara. Di negara – negara Eropa, terdapat EPBD (*European Energy Performance of Building Directive*), yang akhir – akhir ini semakin memperhatikan konsumsi energi pada aspek HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), dikarenakan aspek tersebut dianggap semakin penting dengan banyaknya kebutuhan kenyamanan termal saat ini. Aspek HVAC ini merupakan aspek dengan tingkat konsumsi energi terbesar, baik di sektor residensial maupun tidak.

Selain di negara – negara Eropa yang mayoritas beriklim dingin, aspek HVAC juga berpengaruh besar di konsumsi energi pada bangunan di negara – negara di iklim panas-lembab, seperti Indonesia. Pengkondisian udara, terutama pendinginan, menjadi aspek yang sangat penting, terutama di bangunan – bangunan publik seperti *supermarket*, *sport center*, pusat perbelanjaan, termasuk juga didalamnya adalah bangunan perkantoran. Pada bangunan – bangunan tersebut, lebih dari 50% penggunaan energi bangunannya merupakan dari aspek pengkondisian udara buatan. Hal tersebut disebabkan karena pada negara – negara yang memiliki iklim tropis, sistem penghawaan buatan harus berurusan langsung dengan kelembaban udara dalam ruangan dengan menurunkan temperatur udara hingga dibawah titik embun, yang menyebabkan udara didalam ruang yang dihasilkan lebih rendah dari kebutuhan yang seharusnya, dan akhirnya terjadilah pemborosan energi.



Gambar 2. 8 Proporsi konsumsi energi pada bangunan di iklim tropis
Sumber: Katili, 2015

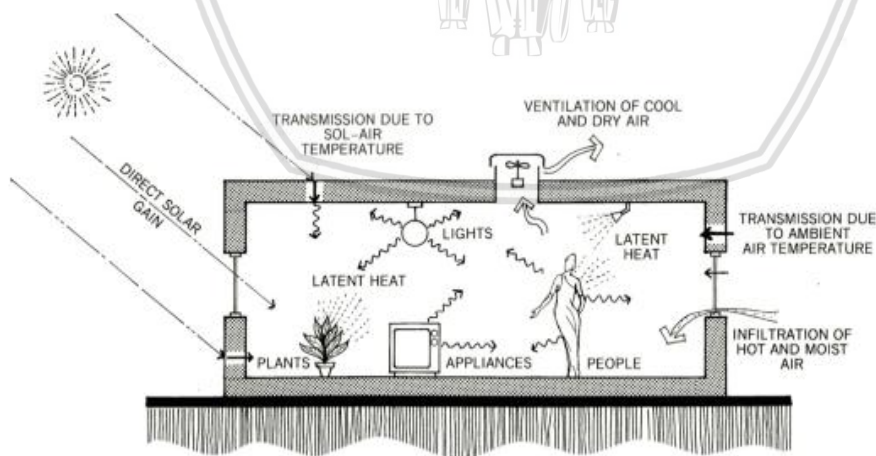
Sesuai dengan grafik diatas, selain dari aspek HVAC, penggunaan energi terbesar adalah dari pencahayaan buatan. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan kenyamanan

secara keseluruhan, termasuk kenyamanan visual, penggunaan pencahayaan buatan didalam bangunan juga semakin meningkat. Secara statistik, aspek HVAC dan pencahayaan memiliki potensi yang besar untuk penghematan energi.

2.5 Beban Pendinginan (*Cooling Load*)

Beban pendinginan adalah jumlah energi panas yang perlu dikeluarkan dari sebuah ruang, untuk menjaga temperatur ruang tersebut di rentang suhu tertentu. Beban pendinginan merupakan bagian dari beban termal, Bersama dengan beban penghangatan (BASIX, 2017). Beban termal yang rendah menandakan bahwa bangunan tersebut akan membutuhkan pendinginan dan penghangatan yang relatif rendah untuk menjaga kondisi kenyamanan pada bangunan. Beban termal sebuah gedung sangat dipengaruhi oleh zona iklim bangunan itu berada. Beban termal mempertimbangkan faktor – faktor seperti:

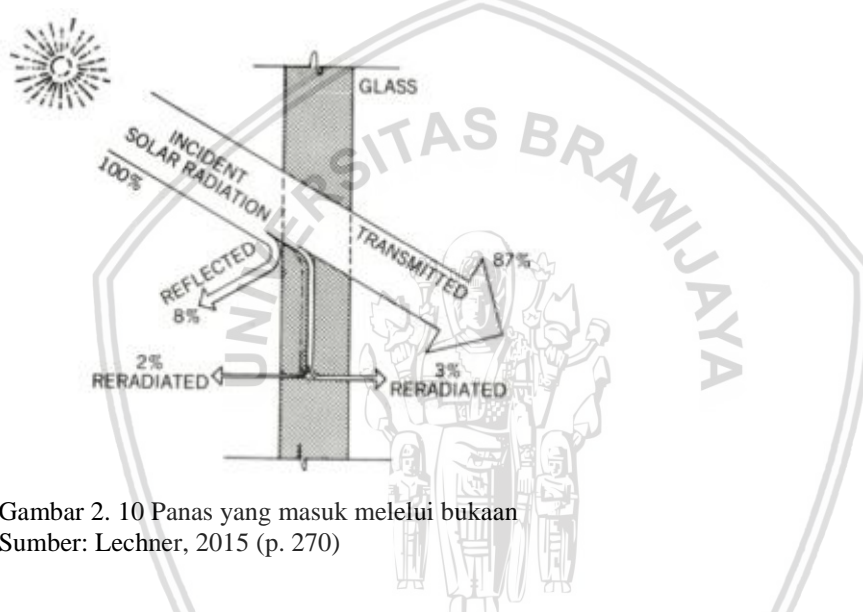
1. Transmisi panas dari radiasi matahari yang mengenai konstruksi dan insulasi dari bangunan tersebut, termasuk lantai, dinding, langit – langit, dan atap.
2. Transmisi panas dari radiasi matahari yang mengenai selubung kaca dan material transparan lainnya dari bangunan tersebut, yang berdasarkan ukuran, performa, dan pembayang.
3. Panas yang berasal dari pengguna bangunan, baik manusia maupun tumbuhan yang melakukan pembakaran setiap saat.
4. Energi panas dari peralatan – peralatan yang mengeluarkan energi panas.



Gambar 2. 9 Sumber panas yang masuk kedalam perhitungan beban pendinginan
Sumber: Lechner, 2015

2.5.1 Solar Heat Gain

Solar heat gain merujuk pada meningkatnya tingkat energi termal pada suatu ruang, objek, atau struktur pada saat objek tersebut menyerap *Incident Solar Radiation*. *Solar heat gain* memiliki 2 komponen. Komponen pertama adalah transmisi radiasi matahari langsung. Jumlah dari radiasi yang masuk melalui bukaan diatur oleh tingkat transmisi surya dari area transparan bangunan. Dengan mengalikan *incident irradiance* dengan luasan area transparan dan tingkat transmisi surya, menghasilkan panas yang masuk melalui bukaan secara langsung. Komponen kedua adalah radiasi matahari yang terserap, yang keluar dari sinar utama, dan terserap oleh material kaca dan frame dari bukaan tersebut. Radiasi tersebut nantinya akan masuk kedalam bangunan melalui efek konduksi (ASHRAE,2001).



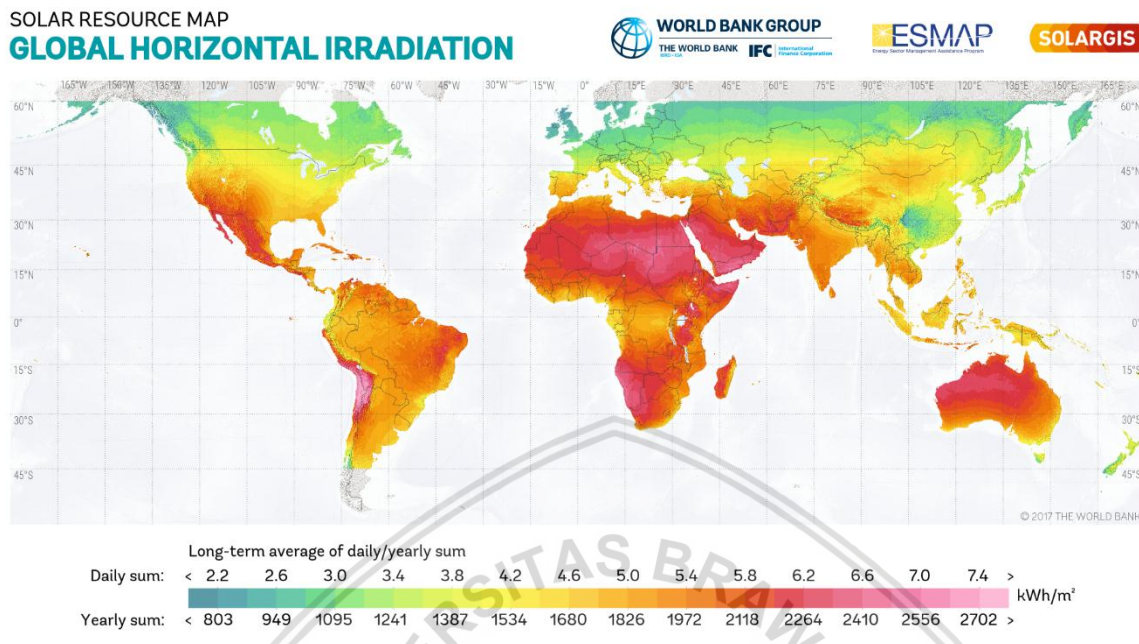
Gambar 2. 10 Panas yang masuk melalui bukaan
Sumber: Lechner, 2015 (p. 270)

2.5.2 Cahaya dan Radiasi Matahari

Radiasi matahari adalah sebutan umum untuk radiasi elektromagnetis yang dipancarkan dari matahari. Setiap tempat di bumi ini pasti mendapatkan cahaya matahari setidaknya pada sebagian tahun. Jumlah sering tidaknya suatu tempat mendapatkan radiasi matahari bergantung pada lokasi geografis, waktu pada satu hari, musim, lanskap dan cuaca lokal.

Karena bentuk bulat dari bumi ini, sudut arah datang sinar matahari berbeda – beda tergantung letak suatu lokasi terhadap bumi. Pada area khatulistiwa, matahari berada tepat diatas bumi, sehingga permukaan bumi pada bagian khatulistiwa mendapatkan radiasi maksimal. Namun semakin sebuah lokasi itu menjauhi khatulistiwa, posisi matahari terhadap tempat tersebut semakin miring, sehingga sinar matahari yang masuk ke area

tersebut harus melalui atmosfer yang lebih banyak, yang menyebabkan sinar matahari semakin menyebar dan menjadi difus.



Gambar 2. 11 Peta radiasi Matahari
Sumber: www.solargis.com

Untuk mengukur jumlah radiasi matahari pada suatu tempat pada satu lintang menggunakan satuan kilowatt-jam per meter persegi (kWh/m^2), menggunakan *Pyrheliometer*. Alat tersebut memasukkan sinar matahari melalui bukaan pada sisi depan, lalu sinar tersebut diteruskan ke *thermopile* yang dapat mengkonversikan panas menjadi sinyal elektrik yang dapat direkam.

Radiasi matahari tidak hanya mengalirkan panas, namun juga cahaya untuk bagian interior bangunan. Pencahayaan alami ini memiliki efek psikologikal yang menguntungkan bagi pengguna bangunan. Intensitas cahaya matahari langsung pada tiap – tiap waktu, musim, tempat berbeda – beda. Selain itu, cahaya matahari tersebut dapat didifusikan oleh awan, molekul udara, hujan, dan dipantulkan oleh tanah maupun permukaan – permukaan benda lainnya.

Cahaya matahari masuk kedalam bangunan melalui bukaan, baik itu bukaan dari samping seperti *sidelight* maupun *light shelves*, maupun bukaan dari atas seperti *skylight*.

2.5.3 Energi & Kenyamanan Termal

Energi termal merujuk pada energi yang disimpan didalam sebuah sistem yang berhubungan langsung dengan temperaturnya. Energi ini timbul dari pergerakan antar molekul. Panas dan temperatur merupakan 2 hal yang berbeda, namun memiliki konsep yang

berhubungan. Perpindahan energi termal dari objek dengan temperatur yang berbeda disebut panas. Sedangkan temperatur merupakan ukuran dari rerata energi kinetik dari atom ataupun molekul dari sebuah sistem.

Kenyamanan termal terjadi apabila suhu tubuh manusia berada pada rentang derajat tertentu, dimana kelembapan permukaan kulit rendah, dan manusia dapat menjaga kondisi suhu tubuh tetap kecil. Kondisi kenyamanan termal bukanlah sesuatu yang baku, melainkan tergantung dari beberapa aspek, baik tergantung dari lingkungan atau dari perilaku masing – masing pengguna itu sendiri. Beberapa perilaku yang dapat mengurangi tingkat ketidaknyamanan termal antara lain seperti merubah pakaian, aktivitas, lokasi dan posisi, merubah suhu sistem pengondisian udara, membuka pintu, atau meninggalkan ruang. Meski kondisi iklim, gaya hidup, maupun kultur di dunia bervariasi, temperatur yang dipilih masyarakat sebagai temperatur nyaman dibawah pakaian, aktivitas, kelembapan dan pergerakan angin yang berbeda ternyata memiliki kesamaan (ASHRAE, 2001).

Untuk menciptakan kenyamanan termal, selain pemahaman terhadap mekanisem tubuh manusia, pemahaman terhadap empat kondisi lingkungan dimana kenyamanan termal dapat dicapai. Keempat kondisi tersebut antara lain:

1. Temperatur udara

Temperatur udara akan menentukan laju dimana panas tersebut tersalurkan ke udara sekitar, yang mayoritas melalui konveksi. Suhu udara diatas 37°C, alur gerak panas akan berbalik, dan tubuh akan menerima panas dari udara sekitar. Rentang suhu kenyamanan termal berkisar antara 20 °C hingga 25 °C.

2. Kelembapan relatif

Penguapan kelembapan kulit sebagian besar merupakan pengaruh dari kelembapan udara sekitar. Udara yang cenderung kering dapat menyerap kelembapan kulit, yang lalu menyebabkan penguapan yang berturut – turut, menyebabkan suhu tubuh mendingin. Di sisi lain, ketika kelembapan relatif (RH) mencapai 100%, udara menahan semua uap air, dan pendinginan melalui penguapan berhenti. Untuk mencapai kenyamanan termal, RH yang dibutuhkan berkisar antara 20% hingga 60%.

3. Pergerakan Angin

Pergerakan angin berpengaruh terhadap laju pendinginan baik oleh konveksi dan penguapan. Rentang kenyamanan kecepatan angin berkisar antara 0,1 – 0,3 m/s. Pada kecepatan 0,3 – 1 m/s, kecepatan udara mulai terasa, namun masih dapat

diterima tergantung dari aktivitas yang dilakukan. Diatas 1 m/s, angin cenderung tidak nyaman dan mengganggu.

4. *Mean Radiant Temperature (MRT)*

MRT merupakan suhu rata – rata di sekitar pengguna. Jika suhu udara rata – rata berbeda jauh dengan suhu udara disekitar pengguna, efeknya harus masuk kedalam pertimbangan. Apabila MRT lebih tinggi daripada suhu udara, maka pengguna akan merasa kepanasan. Sebaliknya, apabila MRT lebih rendah daripada suhu udara, maka pengguna akan merasa kedinginan.

2.6 Iluminasi & Kenyamanan Visual

Iluminasi atau intensitas cahaya adalah total lumen pada suatu luasan area. Iluminasi merupakan pengukuran berapa banyak energi cahaya yang dipancarkan ke sebuah permukaan. Satuan dari Iluminasi ini adalah lux (lux), atau lumen per meter kuadrat (lm/m^2). Mata manusia dapat menangkap iluminasi sebesar 10^8 lux, atau 1000 kali lebih terang dari cahaya matahari langsung. Iluminasi yang terlalu besar akan menyilaukan mata, membuat ketidaknyamanan dan dapat menyebabkan *afterimage* yang lama.

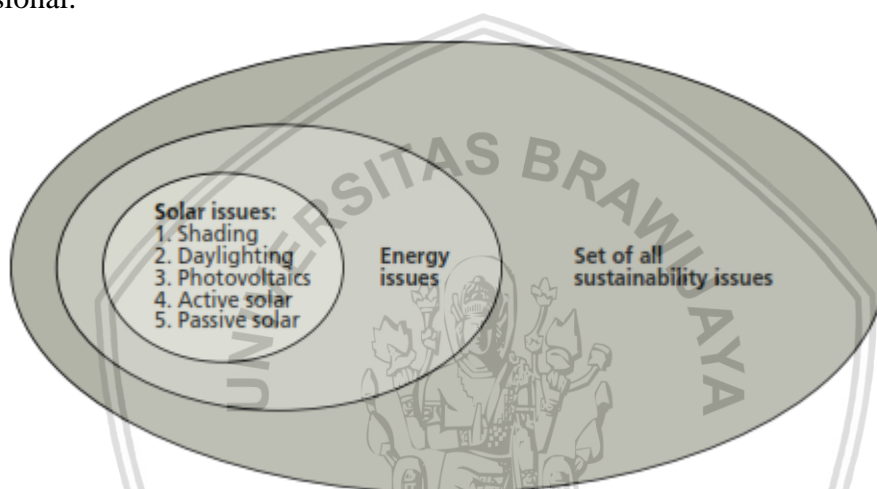
Tingkat kenyamanan visual bergantung pada aktivitas yang sering dilakukan pada ruangan tersebut, ada beberapa aktivitas yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih, dan ada yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang sedikit. Sudah terdapat beberapa standar – standar pencahayaan yang direkomendasikan, baik oleh pemerintah melalui SNI 6197:2011, maupun dari agensi – agensi lain seperti *Illuminating Engineering Society* (IES), yang mengembangkan standarnya menggunakan prosedur yang telah disetujui oleh *American National Standards Institute* (ANSI). Standar – standar tersebut termasuk antara lain:

Tabel 2. 1 Tingkat pencahayaan pada ruang kantor yang direkomendasikan
Sumber: SNI 6197:2011

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (lx)
Ruang Resepsionis	300
Ruang Direktur	350
Ruang Kerja	350
Ruang Komputer	350
Ruang Rapat	300
Ruang Arsip	150

2.7 Hubungan antara Bukaak dan Pembayang dengan Penghematan Energi

Sebelum munculnya istilah “desain efisien energi” maupun “desain sadar energi” yang cenderung fleksibel dan lebih positif, istilah “konservasi energi” memiliki konotasi yang negatif. Istilah tersebut membuat orang yang berpikir tentang ketidaknyamanan dan kekurangan. Namun sebenarnya arsitektur yang mengkonservasi energi dapat mencapai kenyamanan, berkelanjutan, memiliki tingkat kemanusiaan tinggi, dan indah. Bahkan desain dengan konservasi energi dapat menjadi lebih murah dibandingkan dengan bangunan konvensional.



Gambar 2. 12 Kaitan antara isu keberlanjutan, energi, dan matahari
Sumber: <http://heliadons.org/>

Dikarenakan isu pemanasan global yang semakin marak, mengurangi tingkat konsumsi energi bangunan menjadi target utama yang diangkat dalam era sekarang ini. Seperti pada bagan diatas, isu energi merupakan faktor yang cukup penting dibawah isu keberlanjutan yang sangat luas. Dan didalam isu – isu energi tersbut, peran matahari cukup besar, karena banyaknya strategi – strategi penghematan energi yang berhubungan langsung dengan matahari, seperti sel surya (*Photovoltaic*), pemanasan air (*Active Solar*), pemanasan ruang (*Passive Solar*), termasuk juga pencahayaan alami (*Daylighting*), dan pembayang matahari (*Solar Shading*). Meskipun sistem pembayang matahari merupakan kebalikan dari mengumpulkan energi dari matahari, strategi ini merupakan salah satu strategi desain terpenting, karena dapat menghemat penggunaan energi dari penghawaan buatan dalam jumlah besar (Lechner, 2009).

2.7.1 Potensi Bukaannya dalam Penghematan Energi

Bukaan memiliki peran penting dalam performa energi dalam sebuah bangunan, karena bukaan rentan terhadap penyaluran panas dari matahari (*Solar Heat Gain & Loss*). Bukaan memiliki nilai insulasi yang cukup rendah dibandingkan dengan dinding dan atap, yang secara jelas diakibatkan oleh materialnya yang cenderung tipis, menggunakan material yang memiliki konduktivitas tinggi, dan sering terpapar langsung oleh sinar radiasi matahari (K. Alghoul et al., 2011)

Selain sebagai medium yang dapat menyalurkan panas dari matahari ke dalam bangunan, bukaan sebagai bidang yang transparan, juga merupakan tempat utama dalam memasukkan cahaya matahari ke dalam bangunan. Oleh karena itu, pemilihan material, posisi, ukuran, maupun orientasi dapat secara langsung berpengaruh terhadap laju penyaluran panas ke dalam bangunan serta banyaknya pencahayaan yang masuk dari bukaan tersebut.

2.7.2 Potensi Pembayang dalam Penghematan Energi

Pembayang merupakan salah satu dari strategi keberlanjutan, karena hampir seluruh bangunan di dunia mengalami *overheat* pada musim panas, dan respon yang diambil terhadap *overheating* tersebut adalah penggunaan pengondisian udara buatan. Dikarenakan pengondisian udara buatan membutuhkan energi yang sangat besar, dan disitulah pembayang masuk, untuk mengurangi panas yang masuk ke dalam bangunan. Penempatan pembayang merupakan tingkat pertama dari tiga tingkatan pendinginan bangunan, menurut Lechner (2015). Dengan tingkat kedua adalah pendinginan pasif dan tingkat terakhir adalah penggunaan peralatan mekanik apabila kedua tingkatan awal tidak dapat mencapai suhu yang diinginkan. Pembayang juga secara langsung berhubungan dengan masuknya cahaya matahari dan glare.



Gambar 2. 13 Tiga tingkatan pendinginan bangunan
Sumber: Lechner, 2015 (p.254)

2.7.3 IKE (*Intensitas Konsumsi Energi*)

IKE atau Intensitas Konsumsi Energi merupakan satuan penggunaan energi pada sebuah bangunan terhadap ukuran dari bangunan tersebut. Satuan dari IKE ini adalah kilowatt per meter persegi per tahun ($\text{kWh/m}^2/\text{thn}$) atau (kBTU/sf/year), sehingga IKE dapat dihitung dengan membagi total energi yang dikonsumsi oleh bangunan selama setahun, dengan total luasan kotor bangunan. Secara umum, IKE yang lebih rendah dapat menunjukkan performa energi yang baik. Namun, beberapa tipe bangunan memang akan selalu menggunakan energi dibanding yang lain. Seperti bangunan Rumah Sakit relative menggunakan energi yang lebih banyak dibandingkan dengan gudang atau sekolah. Tingkatan IKE sangat tergantung oleh tipe dan fungsi dari bangunan tersebut. Rumah sakit memiliki kisaran 400 – 500 kBTU/sf , sedangkan sekolah mungkin hanya berkisar antara 150 kBTU/sf .

Penggunaan energi, termasuk pada perhitungan IKE, memiliki banyak faktor yang memengaruhinya. Beberapa dari faktor tersebut antara lain adalah: Jenis bangunan, Lokasi dan iklim, Tipe dan ukuran fenestrasi, Efisiensi pencahayaan, Sistem HVAC, Insulasi bangunan, dll.

2.8 Simulasi dalam Penelitian

Simulasi, menurut Pusat Bahasa Depdiknas (2005), adalah metode penelitian yang memperagakan sesuatu dalam bentuk tiruan (imakan) yang mirip dengan keadaan yang sesungguhnya. Dari pengertian tersebut, bisa ditekankan bahwa sebuah penelitian dengan metode simulasi mencoba untuk membuat model dari objek penelitian yang sudah ditentukan sebelumnya, dalam skala yang sama dengan objek atau lebih kecil, dan menggunakan model dalam bentuk fisik maupun diperagakan secara digital menggunakan komputer. Tujuan dari simulasi itu sendiri adalah untuk membuat model yang dapat diolah dan dimanipulasi secara bebas sehingga dapat membantu jalannya penelitian.

Dalam proses pembuatan model, khususnya dalam model simulasi bangunan, dapat dicapai dengan beberapa *software*, yang sesuai dengan kebutuhan dan pendekatan penelitian itu sendiri. Ada *software* yang dikhususkan untuk simulasi pencahayaan, simulasi penghawaan, energi bangunan, akustik, dan lain – lain.

2.8.1 BIM (*Building Information Modeling*)

Building Information Modeling adalah proses permodelan 3 dimensi pintar yang dapat memberikan profesi AEC (Arsitektur, Teknik, dan Konstruksi) wawasan serta alat

untuk merancang, mendesain, mengkonstruksi, maupun mengelola bangunan dan infrastruktur dengan lebih efisien (Autodesk, 2018). Tidak seperti desain bangunan secara tradisional yang bergantung pada gambar 2 dimensi (denah, tampak, potongan, dll.), BIM memperluas desain melebihi 3 dimensi spasial (panjang, lebar, dan tinggi), dengan waktu sebagai dimensi keempat (*Life-Cycle*), dan biaya atau *cost* sebagai dimensi kelima (ASHRAE, 2012).

BIM juga memiliki kebanyakan data yang dibutuhkan untuk menganalisa performa energi dalam sebuah bangunan. Data tersebut dapat digunakan untuk membuat file input untuk simulasi energi bangunan secara otomatis, sehingga dapat menghemat waktu dan usaha secara signifikan (ACADIA, 2013). Terlebih lagi, dengan proses yang otomatis ini dapat mengurangi kesalahan dalam proses simulasi energi bangunan tersebut. *Software* yang digunakan dalam proses pembuatan BIM adalah Autodesk Revit, sedangkan dalam proses analisa energi bangunan, *software* yang digunakan adalah *software* Autodesk Insight.

2.8.2 Autodesk Insight

Insight merupakan sebuah *plug-in software* berbasis *cloud* dari Autodesk, yang merupakan *software* yang bergerak di bidang analisis performa bangunan. *Software* ini terintegrasi ke dalam Autodesk Revit sebagai sebuah *plug-in* atau fitur tambahan. Sebagai sebuah fitur tambahan di *software* tersebut, maka sudah seharusnya Autodesk Insight kompatibel dengan model – model bangunan berbasis BIM. Autodesk Insight menggunakan Green Building Studio sebagai *engine* simulasinya. Jenis – jenis simulasi yang dapat dilakukan oleh Autodesk Insight antara lain adalah simulasi energi keseluruhan bangunan (*Whole Building Energy Simulation*), simulasi pencahayaan alami (*Daylighting Simulation*), simulasi beban pendinginan (*Cooling Load Simulation*), serta analisis radiasi matahari dan produksi energi panel surya (*Solar Analysis & Photovoltaic Energy Production*). Autodesk Insight juga telah berhasil memenuhi tes – tes dari ASHRAE, sehingga simulasi yang dihasilkan menggunakan *software* ini memiliki kredibilitas yang cukup tinggi dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.9 Studi Terdahulu

Pada bagian studi terdahulu ini, dipilihlah 2 penelitian – penelitian yang sudah dipublikasikan di jurnal – jurnal internasional, sehingga memiliki tingkat kredibilitas yang tinggi. Penelitian – penelitian tersebut dipilih dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut: Memiliki kesamaan permasalahan dan tujuan dengan penelitian yang akan

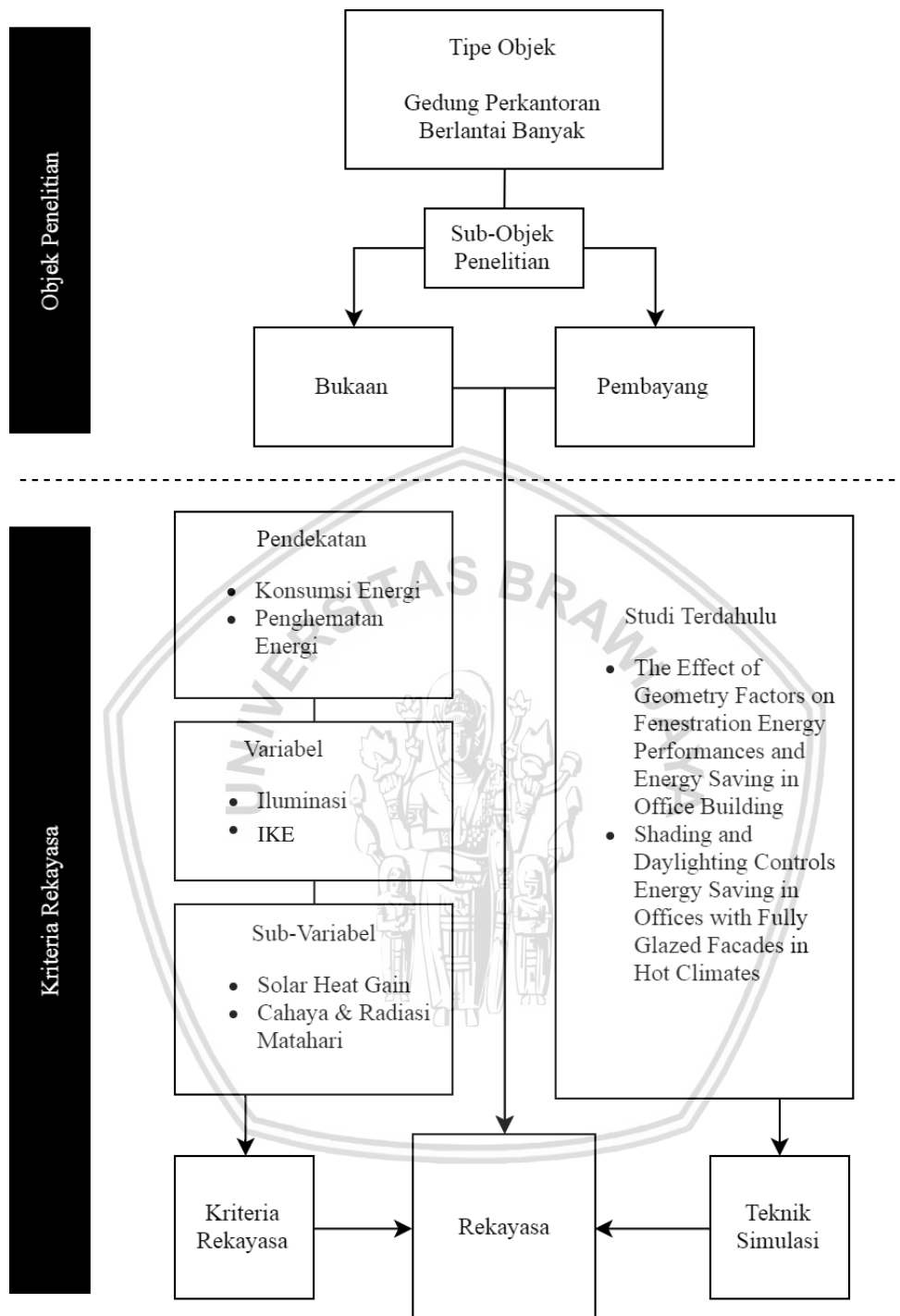
dilakukan; Memiliki kesamaan pendekatan maupun metode dengan penelitian yang akan dilakukan; Kesamaan tipe & iklim objek dengan penelitian yang akan diteliti; Penelitian terkini (<10 tahun terakhir). Dengan adanya studi terdahulu ini, diharapkan bisa menjadi sebuah patokan bagi penelitian yang akan dilaksanakan, dengan tetap mempertimbangkan apakah langkah – langkah yang dijabarkan di penelitian terdahulu cocok dan sesuai dengan apa yang akan dilaksanakan.



Tabel 2. 2 Studi terdahulu yang menjadi salah satu acuan pengerjaan penelitian

Tinjauan	Studi Tedahulu 1	Studi Terdahulu 2
Sumber	Energy and Buildings 57	Energy and Buildings 151
Judul Penelitian	The Effect of Geometry Factors on Fenestration Energy Performance and Energy Saving in Office Building	Shading and Daylighting Controls Energy Savings in Offices with Fully-Glazed Facades in Hot Climates
Peneliti	Susorova et al., 2012	Al Touma & Ouahrani, 2017
Tujuan	Mengevaluasi peran faktor - faktor geometri bukaan pada performa energi di bangunan perkantoran komersil.	Mencaritahu efek dari pembayang dan pengontrolan pencahayaan alami ketika diaplikasikan ke fasad kaca terhadap penghematan energi tahunan di iklim panas.
Variabel Independen	Orientasi bukaan, rasio bukaan dengan dinding, rasio lebar dan kedalaman ruang.	Orientasi pembayang, jenis pembayang, sudut pembayang.
Variabel Dependen	Total konsumsi energi dalam setahun per unit area (kWh/m ² /tahun)	Total konsumsi energi dalam setahun per unit area (kWh/m ² /tahun)
Metode	Pembuatan model bangunan kantor tipikal dengan satu zona termal menggunakan Design Builder dan software simulasi Energy Plus, dengan kriteria model yang telah ditentukan. Kriteria tersebut termasuk posisi ruangan didalam bangunan, modul, tinggi ceiling, lebar ruang, spesifikasi dinding, atap, lantai, dll. Sifat termal setiap material ditentukan sesuai dengan persyaratan performa energi oleh <i>ASHRAE Standard</i> . Parameter yang dievaluasi pertama kali adalah orientasi jendela menurut mata angin. Setelah itu, WWR (rasio bukaan dengan dinding) di simulasikan karena WWR mempengaruhi jumlah pencahayaan alami dan transmisi panas yang masuk kedalam bangunan. Parameter terakhir yang dievaluasi adalah rasio lebar dan kedalaman bangunan, yang merupakan sebuah parameter ruang yang berpengaruh langsung terhadap keterikatan dinding interior adiabatic dan dinding luar, juga distribusi pencahayaan alami melalui interior ruang. Simulasi juga dilakukan pada 6 zona iklim yang berbeda.	Sebuah model simulasi dibuat dengan fasad kaca pada orientasi yang sudah ditentukan dan jenis pembayang terpilih di sisi eksteriornya, menggunakan software simulasi Energy Plus versi 8.5. Simulasi tersebut menggunakan metode penyeimbangan energi panas dari ASHRAE, sebagai metode yang benar dalam mengestimasi performa termal bangunan. Untuk memvalidasi model simulasi yang telah dikembangkan, dibuatlah 3 model ruang 1:1 pada Universitas Qatar, dengan ukuran 2,32 x 3,26 m, dengan tinggi 2,32 m. Dua dari ketiga ruangan tersebut dipasang pembayang, dan ruang pertama tidak diberi perlakuan pembayang sama sekali. Setelah validasi dilakukan, eksperimen simulasi dilakukan dengan merubah orientasi dan sudut pembayang. Kemudian agar pembayang dapat bekerja dengan maksimal selama sehabian penuh, sistem kontrol sudut pembayang dimasukkan kedalam simulasi. Selain sistem kontrol pembayang, sistem kontrol lampu juga dimasukkan untuk semakin menghemat penggunaan energi.
Hasil	Studi ini mendemonstrasikan bahwa pengoptimalan bangunan dan bukaan secara geometris, dapat mengurangi penggunaan energi pada bangunan kantor dan dapat menghemat energi pada seluruh zona iklim. Penghematan energi dengan penggunaan perubahan geometri bukaan (dengan rerata 14%) dapat dicapai pada iklim panas, sedangkan penghematan energi pada zona iklim sedang dan dingin lebih tipis.	Efek dari pembayang brise soleil dan kisi horizontal terhadap cuaca panas pada Qatar diteliti pada penelitian ini. Studi ini menemukan bahwa penambahan brise soleil 45°, dapat menghemat hingga 18,6%, dan penambahan kisi horizontal dapat menghemat hingga 20,6%. Ketika penggunaan sistem kontrol ditambahkan, penghematan bisa mencapai 26,1%, dan glare tidak masuk kedalam bangunan.

2.10 Kerangka Teori



Gambar 2. 14 Kerangka Teori

BAB III

METODE PENELITIAN

Secara garis besar, penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yang dalam mencapai tujuannya, dilakukanlah metode – metode seperti pengukuran langsung, hingga simulasi menggunakan *software* pada komputer.

3.1 Metode Umum Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian skripsi yang berjudul “Rekayasa Bukaannya dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya Kota Malang” adalah metode kuantitatif. Penelitian yang menerapkan metode kuantitatif akan mencoba untuk meneliti suatu sampel atau populasi dengan menggunakan data dengan karakteristik yang dapat diukur, atau bersifat kuantitatif. Data kuantitatif disini dianalisis secara statistik dengan parameter tertentu agar dapat mencapai tujuan tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberi rekomendasi desain untuk elemen bukaan maupun pembayang pada bangunan sebagai bentuk penghematan energi. Penghematan energi disini bersifat kuantitatif, karena memiliki ekspresi matematis yang dapat diolah dan diukur.

Dalam mencapai tujuan dari penelitian ini, terdapat beberapa teknik penelitian yang digunakan, mulai dari pengambilan data hingga analisis data. Pada saat pengambilan data, teknik yang digunakan adalah dokumentasi visual dan wawancara terhadap pengguna bangunan untuk mengidentifikasi masalah awal. Setelah itu, melakukan studi pustaka untuk menemukan parameter – parameter data yang akan diambil, lalu pengukuran data pada saat survey lapangan dilaksanakan secara lebih detail. Data yang diambil pada saat survey lapangan berupa dimensi ruang dan elemen – elemen bangunan lainnya seperti bukaan dan pembayang eksisting, suhu ruang dalam maupun luar, serta intensitas pencahayaan pada ruang dalam maupun luar. Kemudian data – data tersebut dimasukkan kedalam aplikasi simulasi arsitektur, untuk dilakukan modifikasi dan analisis secara kuantitatif. Sebelum memasuki tahap simulasi, dilakukan validasi dari model itu sendiri, supaya hasil analisa dapat dipertanggungjawabkan. Kemudian modifikasi bukaan dan pembayang disimulasikan untuk mencoba menemukan desain yang memenuhi kriteria yang ditentukan.

3.2 Tahapan Penelitian

Berikut langkah – langkah yang diterapkan didalam penelitian ini, antara lain:

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah didalam sebuah penelitian adalah hal yang sangat krusial, karena identifikasi masalah adalah landasan atau faktor penggerak dari penelitian itu sendiri. Pada tahapan ini, peneliti berusaha untuk menggali permasalahan yang ingin diselesaikan. Permasalahan yang ingin diangkat kedalam penelitian ditemukan melalui observasi awal terhadap objek terpilih, dalam konteks ini adalah Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya Kota Malang. Observasi awal dilakukan dengan cara mewawancarai pengguna bangunan dan mendokumentasi serta melakukan pengamatan visual terhadap bangunan tersebut. Wawancara dilakukan secara terbuka atau tidak terstruktur, dengan tujuan untuk benar – benar menemukan permasalahan pada objek tanpa mencoba mengarahkan jawaban ke salah satu aspek bangunan. Sedangkan untuk pengamatan visual dilakukan dengan cara memperhatikan elemen – elemen arsitektural bangunan tanpa melakukan pengukuran ataupun pengambilan data fisik bangunan terlalu detail.

2. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan disini merupakan data yang berhubungan langsung dengan permasalahan, pendekatan, maupun tujuan dari penelitian ini. Terdapat 2 jenis sumber data yang dikumpulkan pada tahap ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapat dari hasil pengumpulan data dari peneliti secara langsung, seperti pengukuran data fisik bangunan, suhu dalam dan luar bangunan, maupun intensitas cahaya dalam dan luar bangunan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari sumber – sumber kedua, seperti data dari pemerintah, studi pustaka, maupun penelitian – penelitian terdahulu. Kemudian kedua jenis data tersebut diolah dan dianalisis agar tujuan dari penelitian ini dapat tercapai.

3. Analisis Data

Data yang sudah dikumpulkan pada tahap sebelumnya dianalisis berdasarkan parameter – parameter desain yang ditetapkan berdasarkan standar dan penelitian terdahulu. Hasil yang dikeluarkan dari tahap ini adalah kondisi eksisting objek terpilih serta alternatif – alternatif baik bukaan maupun pembayang yang dapat diterapkan pada objek.

4. Sintesis

Pada tahap ini, dari hasil analisis data sebelumnya dapat ditarik kesimpulan yang menjawab permasalahan – permasalahan pada objek. Sintesis berusaha merealisasikan tujuan dari penelitian ini, yaitu menentukan desain bukaan dan pembayang yang dapat membantu penghematan energi pada bangunan, tanpa mengurangi kenyamanan pengguna ruang.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan selama proses pengumpulan data, secara garis besar dibagi menjadi 2, berdasarkan jenis datanya, yaitu:

1. Data Primer

a. Wawancara

Wawancara terbuka atau wawancara tidak terstruktur dilakukan kepada pengguna (*user*) bangunan, karena lebih sering merasakan ruang pada objek penelitian. Wawancara dilakukan untuk mengidentifikasi masalah yang nantinya akan diangkat dalam penelitian.

b. Dokumentasi dan Observasi Langsung

Berupa data foto, gambar, maupun sketsa dari objek terpilih, yang diambil secara langsung melalui survey lapangan. Foto dan gambar elemen bangunan terpilih, yaitu bukaan dan pembayang juga dikumpulkan pada tahap ini. Hasil survey digunakan sebagai data untuk dianalisa.

c. Pengukuran Lapangan

Data yang diambil pada metode ini adalah data fisik dari Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya, yang diambil dengan cara pengukuran langsung pada lapangan. Selain data fisik umum dan elemen – elemen bangunan, data iklim seperti suhu, radiasi matahari dan intensitas cahaya baik dalam maupun luar bangunan. Hasil pengukuran akan dimasukkan ketahap analisis untuk ditindaklanjuti lebih jauh.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari sumber – sumber selain dari objek penelitian langsung, seperti hasil studi terdahulu, buku ataupun jurnal ilmiah, serta data yang diperoleh dari pemerintahan. Data yang diperoleh dari pemerintah seperti

data iklim BMKG diperlukan karena data – data tersebut diambil oleh tenaga ahli sehingga memiliki kredibilitas tinggi.

3.4 Variabel Penelitian

Terdapat 2 jenis variable yang dipakai pada penelitian ini, yaitu variable independen dan variabel dependen. Variabel independen adalah variabel yang menjadi sebab dari perubahan variabel dependen, sedangkan variabel dependen adalah akibat dari perubahan variabel independen. Variabel – variabel tersebut, baik itu variabel dependen maupun independen yang digunakan dalam usaha mewujudkan tujuan dari penelitian ini adalah:

Variabel Independen	Sub-Variabel Independen	Variabel Dependen	Indikator
Bukaan	Ukuran Bukaan	Illuminasi	Standar Kenyamanan Visual
	Material Kaca Bukaan	Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Bangunan	Potensi Ekonomi
Pembayang	Jenis Pembayang	Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Bangunan	Penghematan Energi
	Ukuran Pembayang		

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian

3.5 Metode Pengukuran Data

Terdapat 3 macam data yang diukur pada tahapan ini, yaitu pengukuran fisik, suhu, dan intensitas cahaya, dengan penjabaran sebagai berikut:

1. Pengukuran Fisik

Data yang diambil selama pengukuran fisik ini adalah ukuran – ukuran eksisting dari ruang, tinggi per lantai, serta ukuran bukaan dan pembayang secara lengkap, termasuk area transparan maupun frame dari bukaan tersebut. Pengukuran dilakukan secara langsung, menggunakan meteran.

2. Pengukuran Suhu

Data suhu yang diambil adalah suhu dalam dan luar ruangan, dengan sistem modular tiap jarak 3m untuk ruang dalam bangunan. Sedangkan untuk ruang luar, diambil spot di sisi – sisi bangunan yang dapat representative terhadap kondisi termal diluar. Karena keterbatasan izin pada objek studi, pengukuran suhu dilakukan pada lobby lantai dasar dan kantor LP3-M di lantai 4, pengukuran dilakukan dalam 1 hari, tiap jam pada jam kerja, dan dipilih pada saat cuaca cerah, dimana radiasi matahari ada pada titik puncak. Setelah melakukan pengukuran data suhu, hasil pengukuran tersebut digunakan untuk memvalidasi data iklim yang terdapat pada *software* simulasi yang akan digunakan.

3. Pengukuran Intensitas Cahaya

Seperti data suhu pada poin – poin sebelumnya, pada tahap pengukuran intensitas cahaya ini juga dibagi menjadi 2, dalam ruangan dan luar ruangan. Permodulan, lokasi dan waktu penelitian dilakukan pada saat yang bersamaan dengan pengukuran suhu. Data Intensitas cahaya yang dikumpulkan juga digunakan untuk memvalidasi data iklim yang terdapat pada *software* simulasi yang akan digunakan.

3.6 Metode Analisis Data

Berikut adalah teknik & metode yang diterapkan pada tahap analisis data penelitian ini, antara lain:

1. Analisis Visual

Tujuan dari dilakukannya analisis visual adalah untuk mengetahui bagaimana tanggapan bangunan, terutama elemen bukaan dan pembayang, terkait dengan arah datang matahari dan arah jatuh bayang. Setelah mengetahui hal tersebut, perbandingan terhadap teori maupun standar perlu dilakukan untuk menentukan bagaimana kondisi ideal dari kedua elemen arsitektural tersebut. Analisis tersebut dilakukan dengan memasukkan ukuran, orientasi, dan lokasi bangunan kedalam *software* simulasi, lalu kemudian mensimulasikan arah jatuh bayang dan arah datang matahari dengan mengikuti waktu gerak semu matahari selama setahun.

2. Analisis Pengukuran

Data hasil pengukuran pada tahap sebelumnya, baik itu pengukuran fisik, suhu, maupun intensitas cahaya, dibandingkan dengan teori dan juga standar sebagai parameternya. Perbandingan tersebut diperlukan untuk mencari tahu apakah kondisi eksisting bangunan sudah memenuhi standar kenyamanan yang seharusnya atau belum. Data pengukuran juga digunakan untuk menghubungkan kondisi fisik bangunan pada analisis visual pada poin sebelumnya dengan hasil pengukuran lapangan.

3. Analisis Simulasi

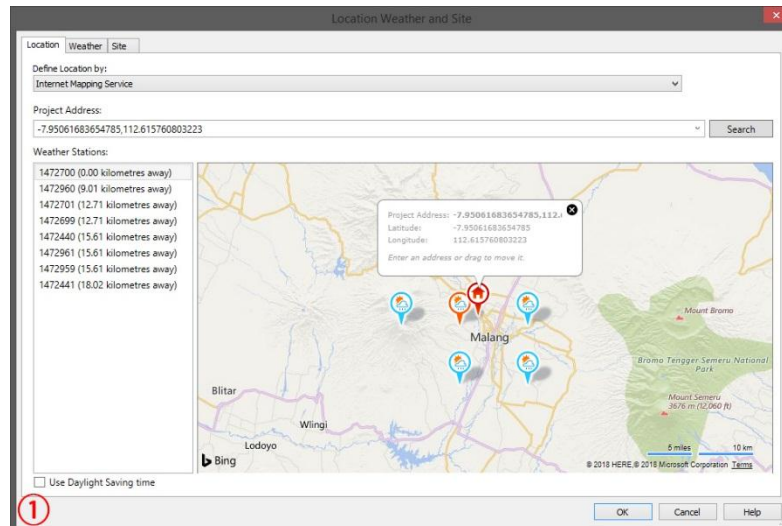
Simulasi disini dilakukan untuk menemukan kondisi bukaan dan pembayang yang ideal, sebagai strategi penghematan energi. Analisis simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* Autodesk Revit yang berbasis BIM (*Building Information Modelling*) sebagai pembuatan 3D modellingnya, dan *software* Autodesk Insight yang merupakan *cloud-based software* yang dapat mensimulasi berbagai hal, termasuk didalamnya adalah simulasi pencahayaan alami dan simulasi energi. Kedua jenis simulasi tersebut menjadi 2 alat utama yang digunakan selama proses analisis data ini. Berikut rincian proses simulasi pada tiap – tiap jenis, antara lain:

a. Simulasi Pencahayaan Alami

Simulasi pencahayaan alami dibandingkan dengan hasil pengukuran intensitas cahaya pada bangunan eksisting yang diukur pada tahap sebelumnya, dan standar yang sesuai dengan fungsi bangunan untuk melihat performa pencahayaan alami yang terbaik. Pada simulasi pencahayaan alami yang menggunakan Autodesk Insight ini diawali dengan melakukan pengaturan – pengaturan berbagai hal yang dapat mempermudah *engine software* untuk melakukan proses simulasi secara lebih akurat. Pengaturan – pengaturan tersebut antara lain:

1.) Pengaturan lokasi

Lokasi dipilih langsung menggunakan sistem pemetaan yang ada didalam *software*. Pada sistem pemetaan tersebut juga memuat informasi tentang *weather station* terdekat, dan secara otomatis mengunduh data iklim yang tersedia pada *weather station* tersebut untuk dijadikan patokan dalam proses simulasi.



Gambar 3. 1 Pengaturan lokasi

2.) Pengaturan jenis analisis

Pada *engine* simulasi pencahayaan alami yang disediakan oleh *software* Autodesk Insight, terdapat beberapa jenis, diantaranya adalah *daylighting analysis*, sDA (*Spatial Daylight Autonomy*), LEED v4 EQc7 Opt1, dan lain – lain. Namun pada penelitian kali ini dibatasi hanya menggunakan *daylighting analysis*.

3.) Pengaturan lokasi didalam bangunan

Pengaturan lokasi yang diteliti ditentukan dengan memilih lantai – lantai yang diinginkan. Namun, simulasi pencahayaan alami ini hanya dapat dilakukan pada area – area pada bangunan yang sudah di-*setting* sebagai sebuah ruangan. Ruangan yang diteliti dalam penelitian ini dibatasi hanya pada lobby utama di lantai 1, lalu lobby tower, koridor beserta ruang kerja di lantai 3.

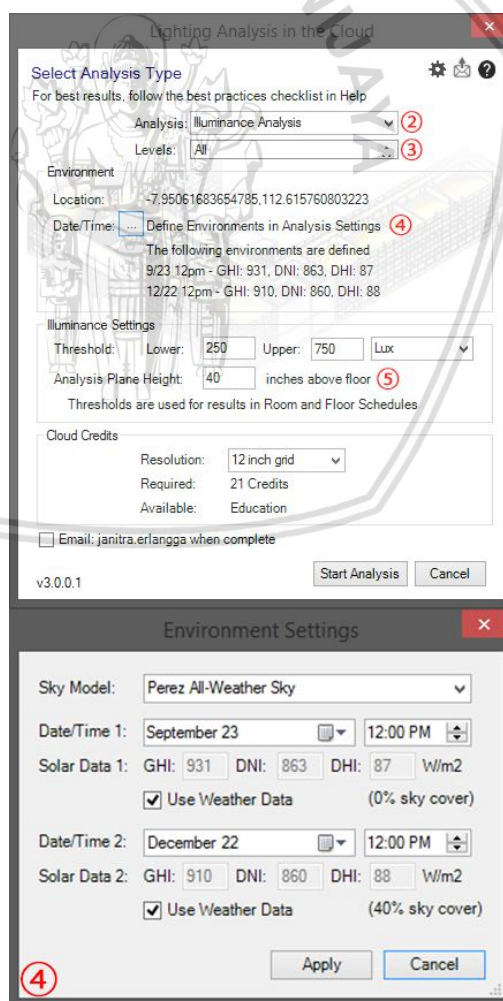
4.) Pengaturan waktu analisis

Dalam 1 kali proses simulasi, waktu analisis yang dapat dipilih terbatas hanya 2 waktu. Satuan waktu yang dimasukkan kedalam pengaturan ini adalah bulan, tanggal, dan jam. Setelah melakukan pengaturan waktu, *software* secara otomatis langsung menyesuaikan data – data iklim dengan satuan waktu yang di-input. Data iklim yang dijadikan waktu analisis adalah data dimana matahari berada di khatulistiwa, posisi paling utara dan posisi paling selatan, yaitu pada tanggal 21 Maret, 21 Juni, 23 September, dan 22 Desember, yang masing – masing diambil pada jam 12 siang. Waktu – waktu tersebut dipilih karena tanggal

tersebut merupakan titik dimana matahari berada di posisi paling utara (21 Juni), posisi paling selatan (22 Desember) dan posisi berada tepat diatas khatulistiwa (21 Maret dan 23 September). Tanggal – tanggal tersebut diharapkan dapat memrepresentasikan pencahayaan pada titik – titik ekstrim selama setahun.

5.) Pengaturan *threshold* analisis

Yang dimaksudkan dengan *threshold* analisis ini adalah menentukan batas dimana tingkat pencahayaan matahari dianggap sesuai dengan standar / target yang diharapkan, terlalu gelap, ataupun terlalu terang. *Threshold* yang digunakan pada simulasi ini adalah 250 – 750 lux, dimana standar pencahayaan bawah (250 lux) merupakan standar tingkat pencahayaan untuk pekerjaan kantor ringan, sedangkan batas atas (750 lux) merupakan standar tingkat pencahayaan untuk melakukan pekerjaan kantor yang membutuhkan tingkat presisi tinggi (IES, 2011).



Gambar 3. 2 Jendela pengaturan simulasi pencahayaan

b. Simulasi Energi

Jenis simulasi energi yang digunakan di *software* Autodesk Insight adalah *Whole Building Energy Simulation* yang menggunakan pendekatan EUI (*Energy Usage Intensity*) atau Intensitas Konsumsi Energi (IKE). IKE merupakan intensitas energi yang dikonsumsi oleh suatu bangunan, dan diekspresikan dalam satuan energi per meter persegi per tahun. Perhitungan IKE dilakukan dengan cara membagi total energi yang dikonsumsi bangunan dibagi dengan total area bangunan. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi IKE, seperti intensitas pemakaian pencahayaan buatan, kepadatan penggunaan listrik, dan lain – lain, termasuk juga iklim serta spesifikasi bukaan dan pembayang. Karena IKE memiliki faktor yang sangat luas, maka sebelum melakukan simulasi energi pada bangunan, perlu melakukan beberapa pengaturan serta asumsi untuk mempermudah *software* melakukan simulasi. Pengaturan – pengaturan tersebut antara lain:

1.) Pengaturan lokasi bangunan

Seperti pada simulasi pencahayaan, langkah awal pengaturan adalah mengatur lokasi bangunan menggunakan sistem pemetaan yang ada didalam *software* beserta *weather station* terdekat yang dijadikan patokan dalam proses simulasi.

2.) Pengaturan orientasi bangunan

Penentuan orientasi bangunan terhadap arah mata angin, yang dilakukan untuk memetakan arah hadap bukaan – bukaan pada bangunan. Hal tersebut penting dilakukan karena efek dari tiap – tiap bukaan dengan arah hadap yang berbeda juga sangat berbeda.

3.) Pengaturan jenis bangunan

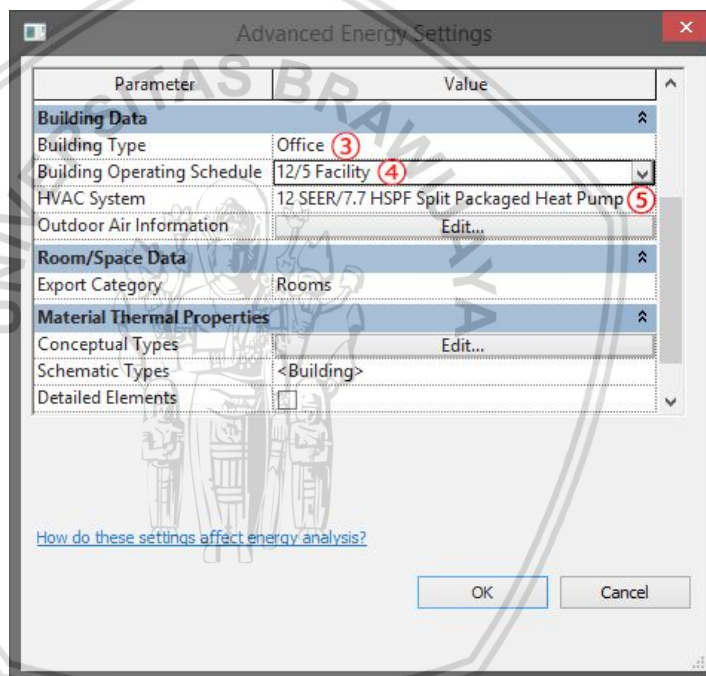
Jenis bangunan pada penelitian ini dibatasi menggunakan jenis bangunan perkantoran. Pengaturan jenis bangunan perlu dilakukan karena intensitas penggunaan energi pada tiap – tiap jenis bangunan berbeda. Seperti contoh, intensitas penggunaan alat – alat listrik pada rumah sakit dibandingkan dengan bangunan perkantoran jauh berbeda.

4.) Pengaturan jam operasi bangunan

Sesuai namanya, pengaturan ini dilakukan untuk menentukan jam buka dan jam tutup bangunan, sehingga perhitungan tahunan energi bangunan yang dilakukan pada simulasi ini lebih akurat.

5.) Penentuan batasan – batasan

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, IKE memiliki banyak faktor yang memengaruhinya. Oleh karena itu, di proses penelitian ini perlu melakukan penentuan batasan – batasan yang berhubungan dengan penggunaan energi pada bangunan, termasuk didalamnya antara lain jenis HVAC yang digunakan, intensitas penggunaan energi listrik, intensitas penggunaan pencahayaan buatan, dan lain – lain. Hal ini perlu dilakukan, agar dapat secara jelas mengamati pengaruh dari tiap – tiap elemen yang diteliti Jenis HVAC ditentukan lewat pengaturan *advanced energy settings*, sedangkan batasan lain ditentukan lewat UI utama di Autodesk Insight.



Gambar 3. 3 Jendela pengaturan simulasi energi

Pada proses *Whole Building Energy Simulation* ini, sesuai yang sudah dijelaskan sebelumnya, memiliki banyak faktor yang memengaruhinya, sehingga untuk simulasi energi ini, hasil dari masing – masing alternatif yang dilakukan dibandingkan dengan IKE eksisting yang juga merupakan hasil simulasi, bukan hasil pengukuran IKE bangunan secara nyata. Hal ini dilakukan karena tidak adanya data yang memadai untuk dilakukannya penghitungan IKE eksisting bangunan secara nyata. Selain itu, perbandingan antara IKE eksisting dengan IKE alternatif yang dilakukan menggunakan model dasar yang sama, diharapkan selama penelitian ini

dapat benar – benar melihat efek yang ditimbulkan dari perubahan – perubahan yang dilakukan selama proses modifikasi dan simulasi ini.

Sedangkan untuk langkah – langkah yang diterapkan selama proses analisis simulasi ini, antara lain adalah:

a. Pembuatan Model

Model yang berdasarkan objek eksisting dibuat menggunakan *software* Autodesk Revit yang berbasis BIM (*Building Information Modeling*), sehingga ukuran dan material – material yang digunakan pada eksisting bangunan dapat tersampaikan dengan akurat.



b. Modifikasi

Modifikasi terhadap bukaan dan pembayang dilakukan secara bertahap, per sub-variabel yang telah ditentukan sebelumnya. Hanya setelah menemukan kondisi optimal dari salah satu sub-variabel, barulah modifikasi dilanjutkan ke sub-variabel selanjutnya. Proses modifikasi dibagi menjadi 3 tahap, yaitu:

1.) Modifikasi Bukaan

Modifikasi – modifikasi bukaan pada tahap ini dilakukan untuk menemukan ukuran bukaan dengan performa pencahayaan alami dan energi yang optimal. Oleh karena itu, modifikasi tersebut dinilai menggunakan simulasi pencahayaan alami. Simulasi energi tidak dijadikan parameter karena tujuan utama dari modifikasi bukaan pada penelitian ini adalah untuk memaksimalkan pencahayaan alami sehingga penggunaan lampu dapat berkurang yang berujung di penghematan energi.

2.) Modifikasi Pembayang

Tujuan utama dari pemodifikasian pembayangan dan korelasinya dengan penghematan energi adalah untuk menentukan pembayang yang dapat mencegah masuknya sinar radiasi matahari langsung kedalam bangunan, sehingga dapat mengurangi jumlah panas yang masuk kedalam bangunan melalui bukaan. Sama seperti modifikasi bukaan, modifikasi ini dinilai menggunakan 2 simulasi, yaitu pencahayaan alami dan energi, namun pada modifikasi ini, simulasi yang dijadikan parameter performa utama adalah simulasi energi.

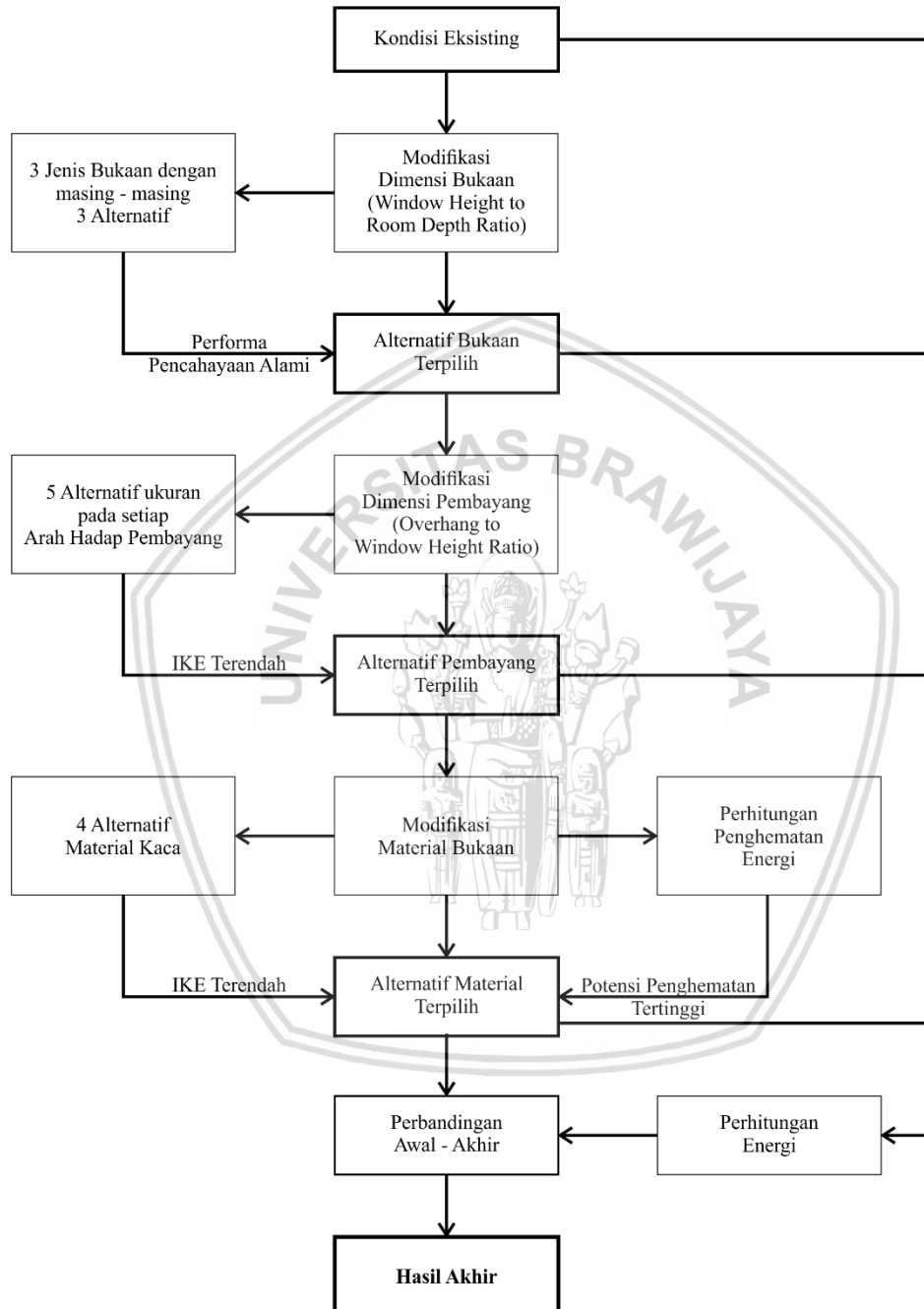
3.) Modifikasi Material

Material yang dimodifikasi pada tahap ini hanyalah terbatas dari material kaca pada bukaan – bukaan yang terdapat di bangunan. Dengan mengubah material kaca tersebut, diharapkan panas yang masuk kedalam bangunan baik via radiasi matahari langsung maupun hal lain dapat berkurang.

c. Analisis Hasil Simulasi

Analisis hasil simulasi ini perlu dilakukan untuk merumuskan hasil maupun temuan dari simulasi pada tahap sebelumnya, yang kemudian menjadi salah satu faktor masukan dalam menentukan rekomendasi desain yang akan

diimplementasikan ke bangunan hasil studi. Hasil dari masing – masing alternatif simulasi, baik itu simulasi pencahayaan alami maupun simulasi energi di tiap – tiap elemen bangunan terpilih, ditimbang menurut parameter – parameter yang sudah ditentukan sebelumnya.,



Gambar 3. 4 Grafik alur simulasi

4. Analisis Perhitungan Biaya

Analisa biaya dilakukan setelah proses analisis hasil simulasi selesai. Proses ini dilakukan untuk menemukan dampak nyata dari penghematan energi yang disebabkan oleh pengimplementasian perubahan bukaan dan pembayang dari

proses simulasi sebelumnya. Hal - hal yang dihitung selama proses ini antara lain adalah:

a. Perhitungan biaya renovasi

Biaya renovasi ini dibatasi hanya memasukkan biaya material bukaan (kaca dan frame) dan pembayang (beton dan tulangan).

b. Perhitungan penghematan per bulan

Penghematan disini dihitung dengan membandingkan biaya listrik per tahun dari IKE eksisting yang disimulasikan, dengan IKE hasil modifikasi bukaan dan pembayang. Selisih dari IKE tersebut merupakan penghematan yang dicapai setelah proses simulasi.

c. Perhitungan balik modal

Dalam perhitungan balik modal, hal yang dicari adalah seberapa lama penghematan tersebut dapat mengganti pengeluaran yang dikeluarkan pada renovasi bangunan.

3.7 Instrumen Penelitian

Berikut beberapa instrumen yang digunakan selama proses penelitian ini, mulai dari proses pengambilan data hingga analisis data, antara lain:

1. Luxmeter

Luxmeter adalah alat untuk mengukur intensitas cahaya pada suatu lokasi, alat ini digunakan untuk mengukur pada setiap titik – titik modular di area yang diteliti.

2. Thermometer

Thermometer adalah alat untuk mengukur suhu baik luar maupun dalam bangunan, alat ini digunakan untuk mengukur pada setiap titik – titik modular di area yang diteliti.

3. Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah *software* komputer yang bergerak di bidang BIM (*Building Information Modelling*). *Software* ini digunakan sebagai pembuat model selama proses simulasi eksperimental.

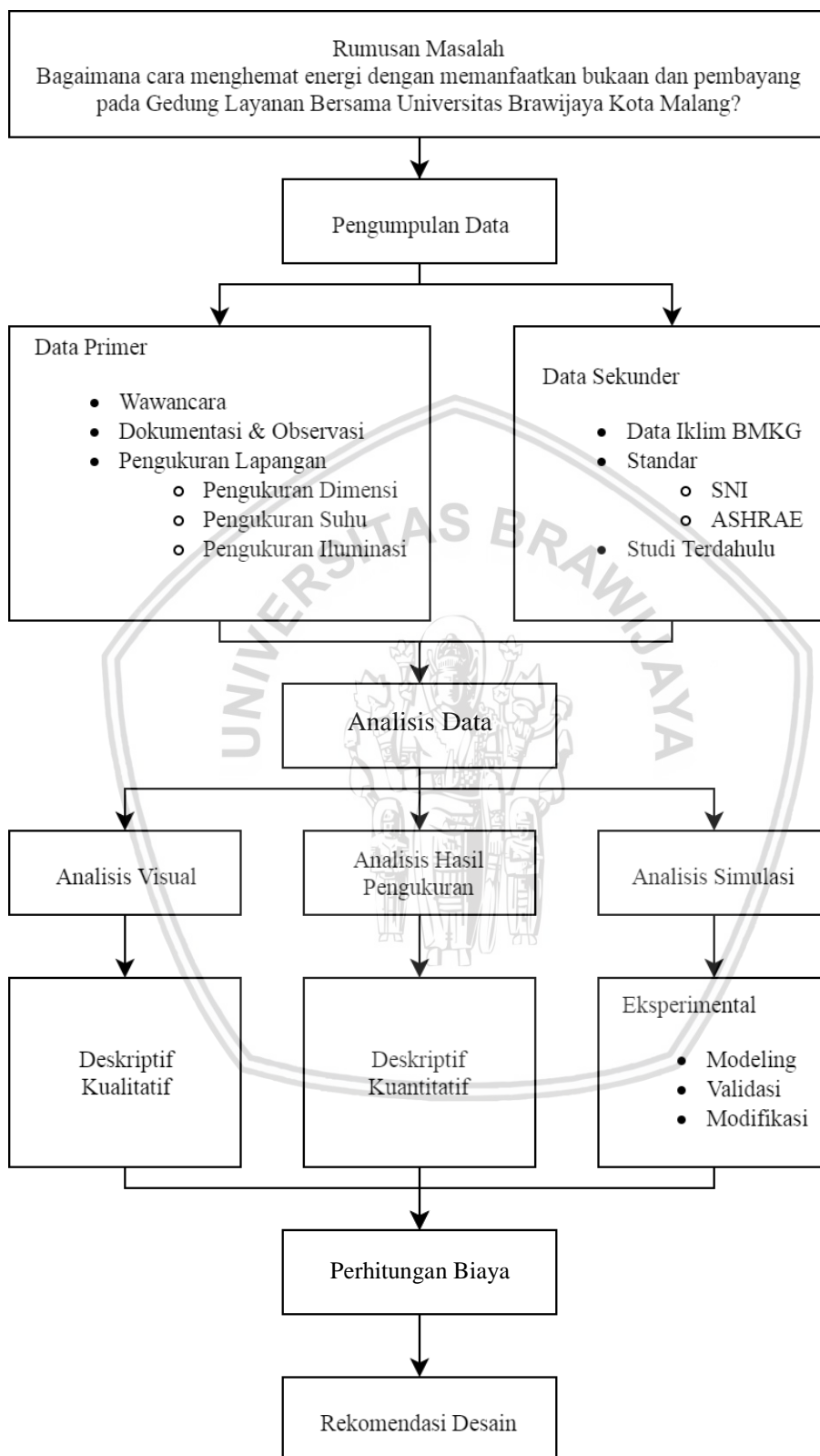
4. Autodesk Insight

Autodesk Inight adalah *software* komputer yang merupakan fitur tambahan dari Autodesk Revit. *Software* ini berbasis *cloud*, sehingga penggunaannya lebih ringan dibandingkan oleh *software* lain yang terikat dengan performa dari

komputer pengguna. *Software* simulasi ini digunakan untuk menganalisa kinerja pembayang dan bukaan pada objek penelitian.



3.8 Kerangka Metode

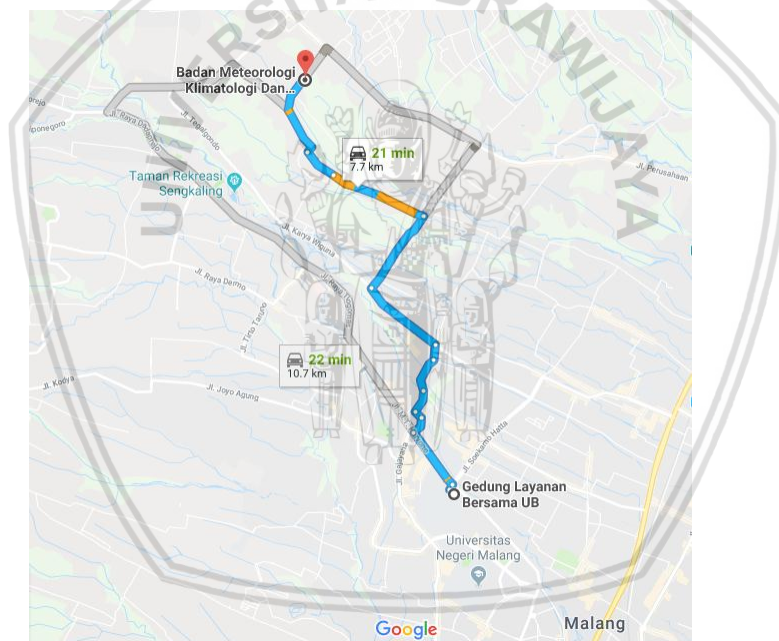


Gambar 3. 5 Kerangka metode penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Iklim Kota Malang

Kota Malang merupakan sebuah kotamadya di Provinsi Jawa timur, dan merupakan kota terbesar kedua setelah ibukota provinsi Jawa Timur itu sendiri, yaitu Kota Surabaya. Kota Malang terletak berkisar diantara $7,06^{\circ}$ - $8,02^{\circ}$ lintang selatan dan $112,06^{\circ}$ - $112,07^{\circ}$ bujur timur. Batas wilayah Kota Malang yaitu, Kec. Singosari dan Kec. Karangploso Kabupaten Malang di arah utara, Kec. Pakis dan Kec. Tumpang Kabupaten Malang di arah timur, Kec. Tajinan dan Kec. Pakisaji Kabupaten Malang di arah selatan, dan Kec. Wagir dan Kec. Dau Kabupaten Malang di arah barat. Kota Malang hanya memiliki 1 stasiun pengamat meteorologi, yaitu di Stasiun Klimatologi Karangploso.



Gambar 4. 1 Jarak antara objek studi dan stasiun klimatologi terdekat

Sumber: maps.google.com

Rata – rata suhu udara berkisar antara $22,7^{\circ}\text{C}$ – $25,1^{\circ}\text{C}$, dengan suhu maksimum $32,7^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimum hingga $18,4^{\circ}\text{C}$. Kota Malang memiliki rerata kelembaban udara sekitar 79% - 86%, dengan kelembaban maksimum 99% dan minimum 40%. Menurut data yang diambil di Stasiun Klimatologi Karangploso, Kota Malang memiliki curah hujan yang tinggi pada bulan Februari, November dan Desember. Sedangkan curah hujan terrendah pada bulan Juni dan September.

4.2 Gambaran Umum dan Kondisi Bangunan di Universitas Brawijaya

Universitas Brawijaya (UB) adalah sebuah lembaga pendidikan tinggi negeri yang didirikan di Kota Malang pada tanggal 5 Januari 1963. Universitas Brawijaya memiliki kampus utama di Ketawanggede, Malang, tepatnya di jalan MT Haryono, kemudian UB juga memiliki beberapa kampus cabang di Puncak Dieng dan Griyasanta, yang keduanya di Malang. Selain di Malang, UB juga memiliki cabang di Kediri, Kasembon, Jakarta dan Probolinggo, baik dijadikan sebagai kampus Pendidikan maupun hanya untuk penelitian.

Kampus utama Universitas Brawijaya memiliki luasan sekitar 58 ha, dan sebagai usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan kampus, gedung – gedung yang didirikan di UB cenderung berlantai banyak (terutama gedung – gedung baru), mulai dari 3 lantai hingga 12 lantai. Berikut beberapa contoh gedung berlantai banyak yang terdapat di kampus utama Universitas Brawijaya:



Gambar 4. 2 Tata letak gedung di Universitas Brawijaya
Sumber: maps.google.com



Gambar 4. 3 Gedung – gedung berlantai banyak di Universitas Brawijaya

Tabel 4. 1 Tabel tipologi gedung berlantai banyak di Universitas Brawijaya

No.	Nama Bangunan	Fungsi	Orientasi Bangunan	Curtain Wall	Bukaan Menjorok Kedalam
1	Gedung Fakultas Hukum	Perkuliahan	Timur-Barat	-	√
2	Gedung Fakultas Ekonomi	Perkuliahan	Timur-Barat	-	-
3	Gedung Fakultas Ilmu Administrasi	Perkuliahan	Timur-Barat	-	√
4	Gedung Fakultas Ilmu Budaya	Perkuliahan	Utara-Selatan	-	-
5	Gedung Fakultas Ilmu Komputer	Perkuliahan	Timur-Barat	-	-
6	Gedung Layanan Bersama	Perkantoran	Timur-Barat	-	√
7	Gedung Fakultas Matematika & IPA	Perkuliahan	Utara-Selatan	-	√
8	Gedung Fakultas Perikanan	Perkuliahan	Utara-Selatan	-	√
9	Gedung Fakultas Pertanian	Perkuliahan	Utara-Selatan	-	√
10	Gedung Fakultas Teknik	Perkuliahan	Timur-Barat	√	√
11	Gedung Fakultas Teknologi Pertanian	Perkuliahan	Utara-Selatan	√	-
12	Gedung Rektorat Universitas Brawijaya	Perkantoran	Utara-Selatan	√	-
13	Gedung Fakultas Ilmu Sosial & Ilmu Politik	Perkuliahan	Utara-Selatan	-	√
14	Gedung Fakultas Kedokteran	Perkuliahan	Utara-Selatan	-	√
15	Gedung Fakultas Peternakan	Perkuliahan	Utara-Selatan	-	√

Berdasarkan dari foto – foto fasad gedung diatas, dapat disimpulkan bahwa gedung – gedung berlantai banyak di Universitas Brawijaya mayoritas memiliki ciri – ciri seperti kolom dan balok yang menonjol, bukaan yang cenderung menjorok kedalam, bukaan yang individual (bukan merupakan *curtain wall*), serta memiliki shading yang minimal (lebih bergantung pada prinsip *self-shading*). Dan bangunan yang diteliti, yaitu Gedung Layanan Bersama, dapat merepresentasikan gedung – gedung berlantai banyak yang menerapkan prinsip *self-shading* dengan overhang minimal, terutama pada gedung – gedung yang memiliki orientasi timur-barat.

4.3 Gambaran Umum Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya

Gedung Layanan Bersama merupakan gedung perkantoran berlantai banyak yang berlokasi di Kompleks Universitas Brawijaya, tepatnya di Jl.MT. Haryono, Kota Malang. Bangunan ini termasuk bangunan baru jika dibandingkan dengan bangunan – bangunan lainnya di Universitas Brawijaya. Gedung Layanan Bersama baru resmi dioperasikan pada tahun 2015, dan digunakan oleh banyak instansi di Universitas Brawijaya seperti LPP-M, LP3-M, BUA, BUNA, dan lain – lain. Semua instansi tersebut menempati lantai 1 – 8 pada bangunan tersebut, dengan 2 lantai teratas masih belum difungsikan. Lantai 1 dan 2 pada bangunan ini berbentuk podium, sedangkan lantai 3 hingga 10 memiliki bentuk tipikal tower.



Gambar 4. 4 Gedung Layanan Bersama

Selain 10 lantai yang sudah dijelaskan sebelumnya, bangunan ini juga memiliki 1 lantai basement yang digunakan oleh pengguna bangunan untuk memarkirkan kendaraannya, baik itu roda 2 maupun roda 4. Sedangkan pada bagian *entrance* bangunan ini sendiri juga terdapat area *drop-off* khusus untuk roda 4. Pada area *drop-off* terdapat

struktur penutup atap yang terpisah dari struktur bangunan utama, yang difungsikan untuk melindungi area *drop-off* dari panas dan hujan.

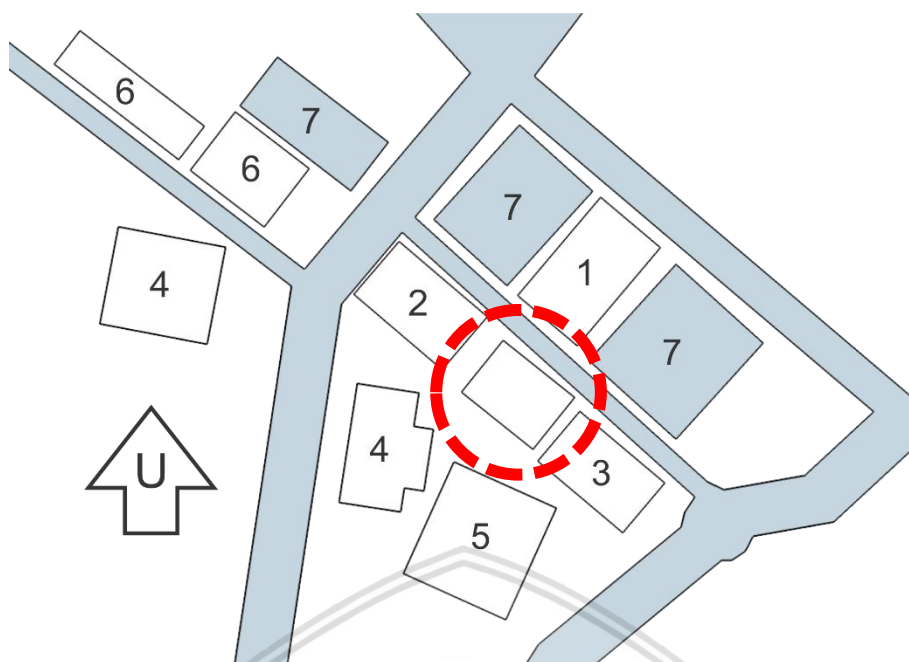


Gambar 4. 5 Area Drop-off

4.3.1 Kondisi Lingkungan Sekitar Gedung Layanan Bersama

Gedung Layanan Bersama berhimpitan dengan bangunan – bangunan Universitas Brawijaya yang lain, terutama pada sisi timur dan barat bangunan ini, yaitu dengan Institut Biosains Universitas Brawijaya di sisi timur, dan UB Guest House pada sisi barat. Sedang untuk sisi seberang (utara dan selatan), bangunan ini bersebelahan dengan Poliklinik Universitas Brawijaya di sisi utara dan di sebelah selatan terdapat Masjid Raden Patah Universitas Brawijaya. Dari bangunan – bangunan yang terletak di sebelah Gedung Layanan Bersama, tidak ada bangunan yang memengaruhi masuknya cahaya matahari menuju kedalam bangunan, meskipun letak masing – masing bangunan berhimpitan. Hal tersebut disebabkan oleh tidak adanya bangunan yang cukup tinggi sehingga tidak dapat menutupi masuknya cahaya matahari tersebut.

Disekitar bangunan ini juga terdapat 2 lahan parkir untuk kendaraan roda 2, yang merupakan lahan parkir untuk seluruh pengguna bangunan di Kompleks Universitas Brawijaya.



Gambar 4. 6 Lokasi bangunan gedung layanan bersama

Keterangan:

1. Poliklinik UB
2. Guest House UB
3. Institut Biosains UB
4. Fakultas Ekonomi
5. Masjid Raden Patah
6. Fakultas Ilmu Akuntansi
7. Area Parkir

4.3.2 Kondisi Bangunan Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya

Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya merupakan bangunan berlantai banyak *single tower*, dengan lantai 1 & 2 berbentuk podium dan lantai 3 – 10 sebagai towernya. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, di bangunan ini ditempati oleh beberapa instansi yang bekerja dibawah Universitas Brawijaya. Instansi – instansi tersebut antara lain: BUNA dan BUA menempati lantai 1, International Office UB menempati lantai 2, LP3-M menempati lantai 3 – 4, dan LPP-M menempati lantai 5 – 7.

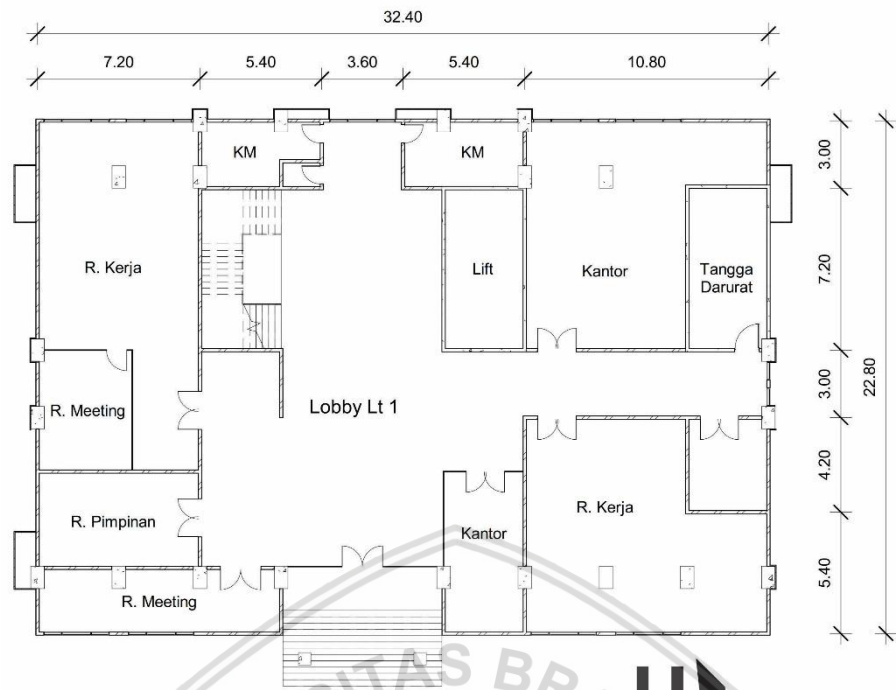
Selubung Gedung Layanan Bersama memiliki material utama dinding plester, sebagaimana bangunan – bangunan di Kota Malang dibuat. Namun, pada beberapa bagian di bangunan tersebut, terdapat lapisan ACP (*Aluminium Composite Panel*) tambahan, sebagai penambahan unsur estetika pada bangunan.



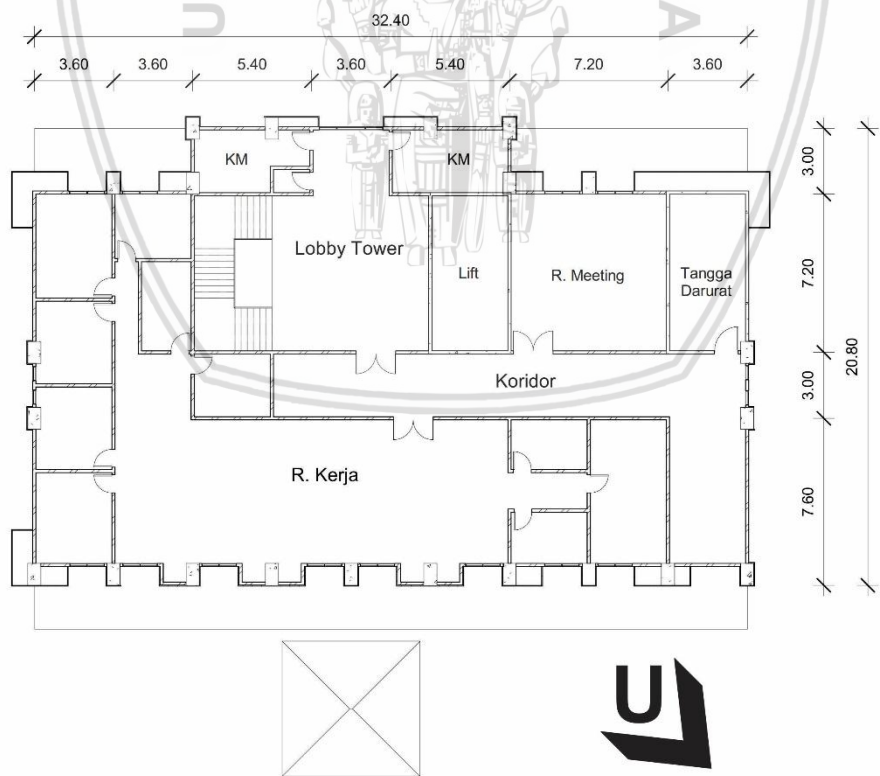
Gambar 4. 7 Selubung Bangunan

Bangunan ini, sebagai bangunan yang dapat dikategorikan menjadi *high-rise building*, mayoritas menggunakan alat – alat pengkondisian buatan, baik itu lampu sebagai alat pengkondisian cahaya / visual buatan, maupun AC sebagai alat pengkondisian udara buatan. Lampu yang digunakan di bangunan ini sebagian besar adalah lampu TL, terutama pada ruang – ruang yang berukuran luas, sedangkan sistem pengondisian buatan yang digunakan adalah sistem AC split.

Di lantai 1 terdapat sebuah lobby besar yang menghubungkan *entrance* bangunan ke beberapa ruang kerja 2 instansi yang ditempatkan disana. Lalu, pada lantai 2 terdapat *void* bangunan yang terletak tepat diatas lobby utama pada lantai 1. Pada bagian tower bangunan juga terdapat lobby – lobby kecil yang digunakan sebagai ruang transisi menuju ke ruangan kerja masing – masing instansi tersebut. Selain ruang kerja, di setiap lantai bangunan juga memiliki meeting room untuk masing – masing instansi yang terdapat di lantai tersebut. Tata ruang pada lantai – lantai tower ini memiliki perbedaan di tiap – tiap lantainya, yaitu sesuai dengan kebutuhan ruang – ruang yang dibutuhkan oleh masing – masing instansi tersebut.



Gambar 4. 8 Denah Lantai 1



Gambar 4. 9 Denah Lantai 3

Secara bentukan, bangunan ini memiliki bentuk yang cenderung tebal, dengan kurang lebih memiliki dimensi 20 x 32,5 m. Hal itu menyebabkan terdapat ruangan yang tidak berhubungan langsung dengan dinding luar, yang menyebabkan diharuskannya penggunaan pencahayaan buatan didalam bangunan. Sisi bangunan yang paling banyak memiliki bukaan adalah sisi timur laut bangunan, yang juga merupakan muka utama bangunan. Sedangkan sisi yang paling minim bukaan adalah sisi tenggara dan barat laut.



Gambar 4. 10 Jendela pada sisi utara bangunan

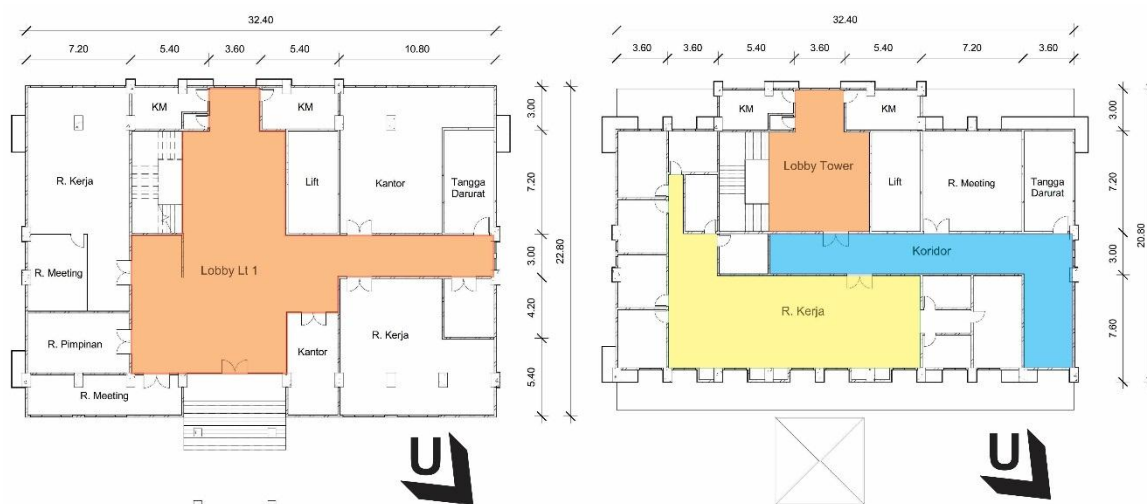
4.4 Proses Pengumpulan Data

Merupakan langkah pertama dari penelitian, dimana langkah ini dilakukan untuk mengumpulkan data bangunan yang akan dibuat menjadi model. Data yang dikumpulkan termasuk data fisik bangunan, beserta data pencahayaan dan suhu bangunan.

4.4.1 Penentuan Sampel Pengumpulan Data pada Bangunan

Dari 10 lantai yang terdapat didalam bangunan ini, dilakukan pemilihan sampel dimana pengumpulan data tersebut dilakukan, yang dipilih berdasarkan kriteria – kriteria yang telah ditentukan. Kriteria tersebut adalah, mewakili masing – masing area *podium* dan area *tower* bangunan, selain itu, ruangan yang diteliti harus berhubungan langsung dengan *outdoor* bangunan. Dari kriteria tersebut beserta kemudahan mendapat akses untuk melakukan pengumpulan data didalam bangunan, dipilihlah 2 lantai bangunan, yang merupakan 1 lantai *podium* dan 1 lantai *tower*, yaitu lantai 1 dan lantai 3.

Pada lantai 1 yang mewakili area *podium*, pengukuran dilakukan di area *lobby* utama dan koridor menuju ruangan kantor. Sedangkan pada lantai 3 yang mewakili area *tower* bangunan, pengukuran dilakukan di *lobby*, koridor menuju ruangan kantor, dan ruang kerja pengguna bangunan yang berbentuk *open-office*. Berikut ruangan – ruangan yang dipilih untuk dilakukan pengumpulan data:



Gambar 4. 11 Ruang pada bangunan yang digunakan untuk pengumpulan data

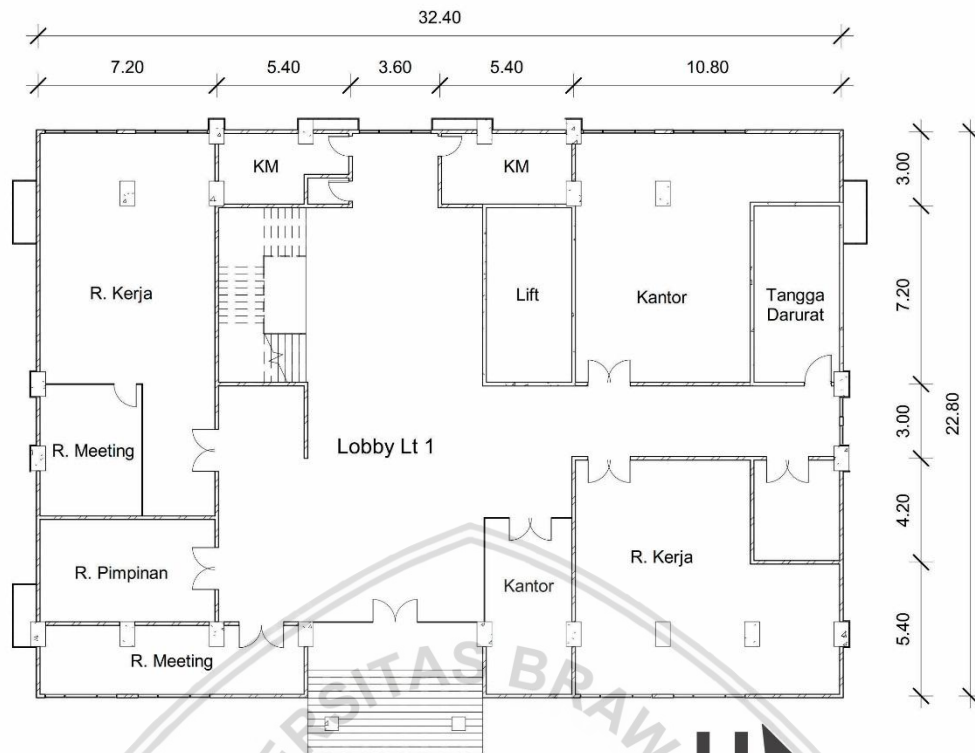
Namun selain kedua lantai tersebut, pengumpulan data selubung bangunan juga dilakukan dengan cara pengamatan visual, Pengumpulan data tersebut mencakup bangunan secara keseluruhan, dan tidak terbatas dari kedua lantai terpilih yang dipilih melalui proses penentuan sampel sebelumnya.

4.4.2 Pengumpulan Data Fisik Bangunan

Proses pengumpulan data fisik bangunan dilakukan pada tanggal 30 Januari 2018, dengan mengumpulkan data – data sebagai berikut:

1. Dimensi bangunan

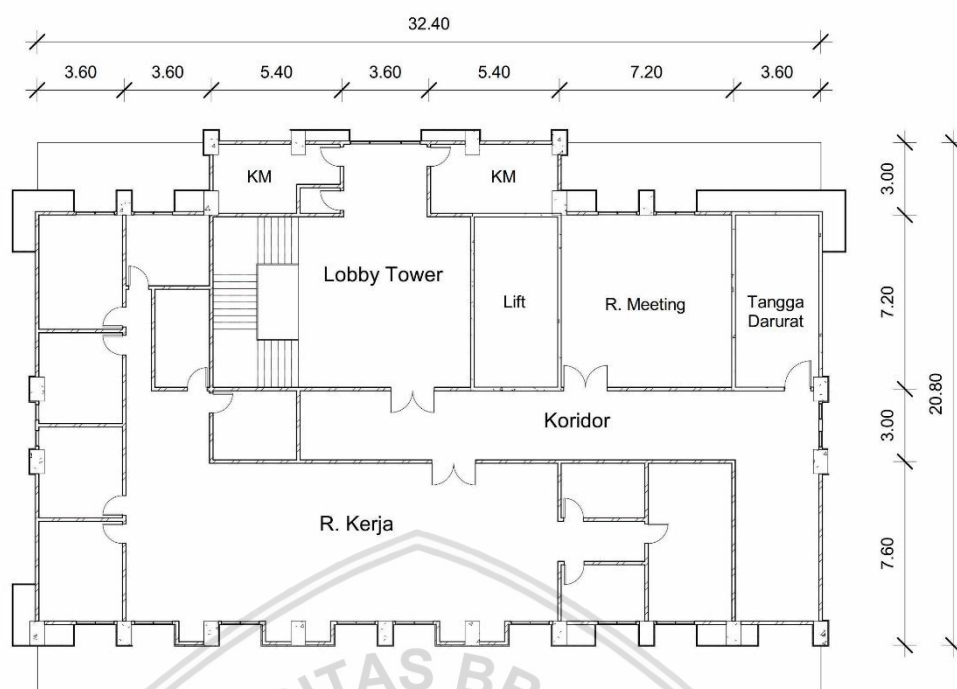
Pengukuran dimensi bangunan dilakukan di lantai 1 dan 3, sedangkan untuk ukuran lantai – lantai lainnya hanya dilakukan pengamatan visual dan diasumsikan menyerupai bentuk lantai 1 jika berbentuk *podium* dan lantai 3 jika berbentuk *tower*.



Gambar 4. 12 Hasil pengukuran fisik pada lantai 1

Pada lobby utama lantai 1, terdapat 3 sumber cahaya dari 3 sisi yang berbeda, yaitu dari pintu dan dinding kaca sisi timur laut, dan jendela – jendela dari sisi barat laut dan barat daya. Namun meski begitu, cahaya matahari tetap tidak dapat masuk secara merata, karena memang bangunan ini terlalu tebal untuk bisa bergantung menggunakan pencahayaan alami saja.

Lobby utama ini membagi ruangan kantor menjadi 3 bagian, yaitu utara, barat dan selatan. Hal tersebut membuat hampir semua ruangan kantor pada lantai 1 berhubungan langsung dengan ruang luar. Tetapi karena kebutuhan ruang dari masing – masing kantor tersebut, dari area kantor diberi sekat – sekat pembatas ruang, yang menyebabkan adanya beberapa ruangan kantor yang tidak berhubungan langsung dengan ruang luar.

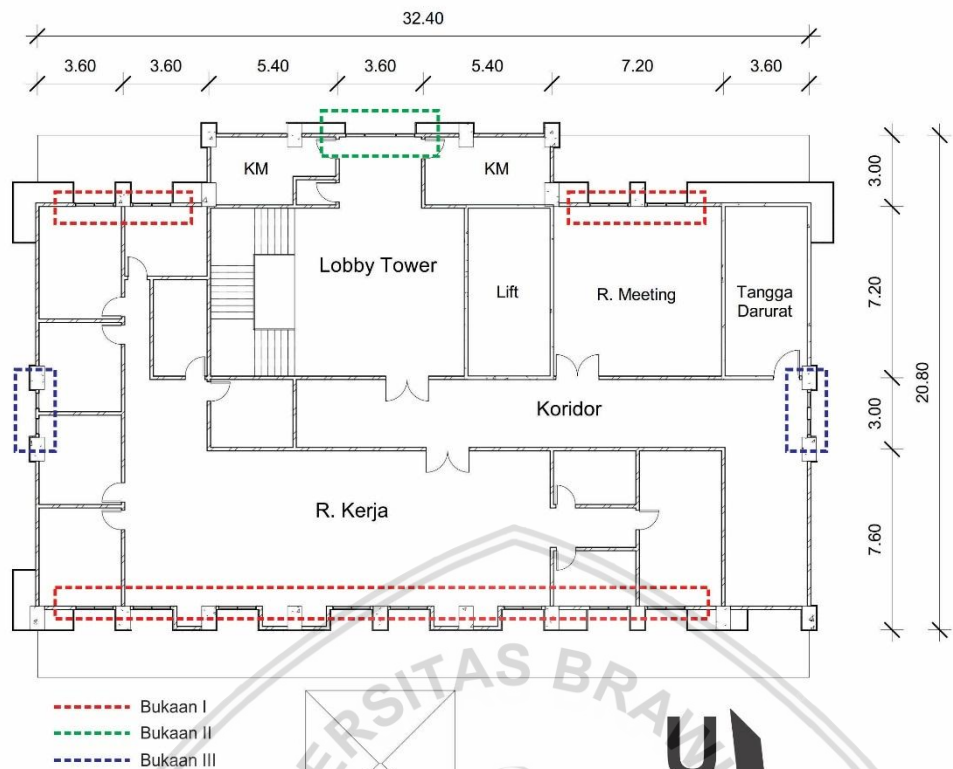


Gambar 4. 13 Hasil pengukuran fisik pada lantai 3

Pada area tower, terdapat lobby kecil yang langsung berhubungan dengan lift, tangga utama, toilet dan area kantor. Pada masing – masing lantai tower terdapat beberapa perbedaan di susunan ruang lantai tersebut, dikarenakan adanya perbedaan kebutuhan ruang di instansi yang menempati masing – masing lantai. Namun, perubahan tersebut tidak signifikan, hanya terdapat perbedaan bentang koridor yang menghubungkan ke ruangan – ruangan kantor, dan ada tidaknya lobby khusus / ruang tunggu didalam area kantor.

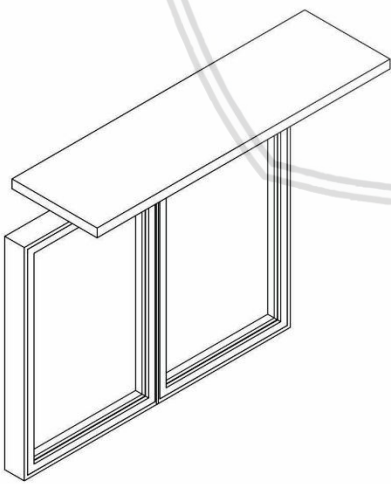
2. Jenis, ukuran dan material bukaan dan pembayang

Pengumpulan data bukaan dan pembayang dilakukan dengan cara pengamatan visual dan pengukuran langsung di tiap – tiap jenis jendela.



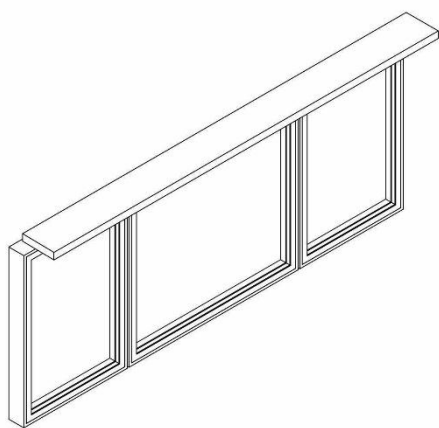
Gambar 4. 14 Posisi bukaan terhadap gedung

Tabel 4. 2 Ilustrasi dan keterangan jendela



Bukaan I

Dimensi: 1,6 x 1,2 m
 Jenis: Awning
 Lokasi: Sisi utara dan selatan bangunan
 (Lantai 3 – 8)
 Jumlah: 72



Bukaan II

Dimensi: 2,9 x 1,15 m

Jenis: Awning

Lokasi: Sisi utara (Lt. 1 & 2) & sisi selatan (Lt. 1-8)

Jumlah: 16



Bukaan III

Dimensi: 0,65 x 1,9 m

Jenis: Awning

Lokasi: Sisi timur (Lt. 3 – 8) & sisi barat (Lt. 1 – 8)

Jumlah: 28

Seperti yang sudah dijelaskan di tabel diatas, pada bangunan ini kurang lebih memiliki 3 jenis bukaan yang masing – masing diletakkan di sisi yang berbeda. Bukaan I merupakan jendela yang paling banyak digunakan di bangunan Gedung Layanan Bersama, dan mayoritas terletak di sisi utara bangunan. Letak bukaan I cenderung menjorok kedalam bangunan, dengan pembayang kurang lebih 50cm, hal tersebut membuat bukaan ini lebih tertutup dan seakan – akan memiliki pembayang vertikal juga. Namun posisi bukaan I yang sedikit menjorok kedalam belum membuat pengguna bangunan nyaman. *Glare* dari matahari masih masuk kedalam bangunan dan menyebabkan penggunaan kaca film beserta gorden pada bukaan ini sangat umum digunakan di bangunan.

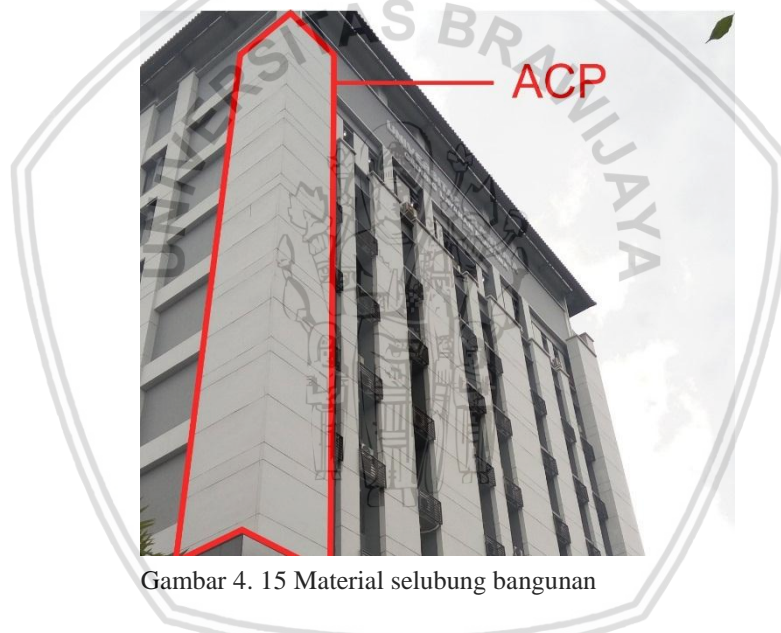
Bukaan II, yang merupakan jendela yang dibagi menjadi 3 segmen, merupakan sumber cahaya utama bagi lobby – lobby di hampir semua lantai, dan mayoritas terletak di sisi selatan bangunan. Meski bukaan ini memiliki dimensi yang cukup

besar, bukaan II hampir tidak memiliki pembayang untuk mencegah masuknya *glare* kedalam bangunan. Pembayang yang dimiliki bukaan ini hanya sekitar 0,2m.

Bukaan III berada di sisi samping bangunan, yaitu sisi barat dan timur. Bukaan ini cenderung memiliki ukuran yang sempit, namun tinggi, yang memang dikarenakan posisi diletakkannya bukaan ini berada diantara 2 kolom yang berjarak 3m. Bukaan jenis ini tidak memiliki pembayang sama sekali, meski letaknya yang berada di sisi barat-timur bangunan dan memiliki tinggi yang cukup besar.

3. Material yang digunakan

Pengumpulan data material bangunan dilakukan dengan cara pengamatan visual, dan pengamatan dilakukan di selubung bangunan secara keseluruhan



Gambar 4. 15 Material selubung bangunan

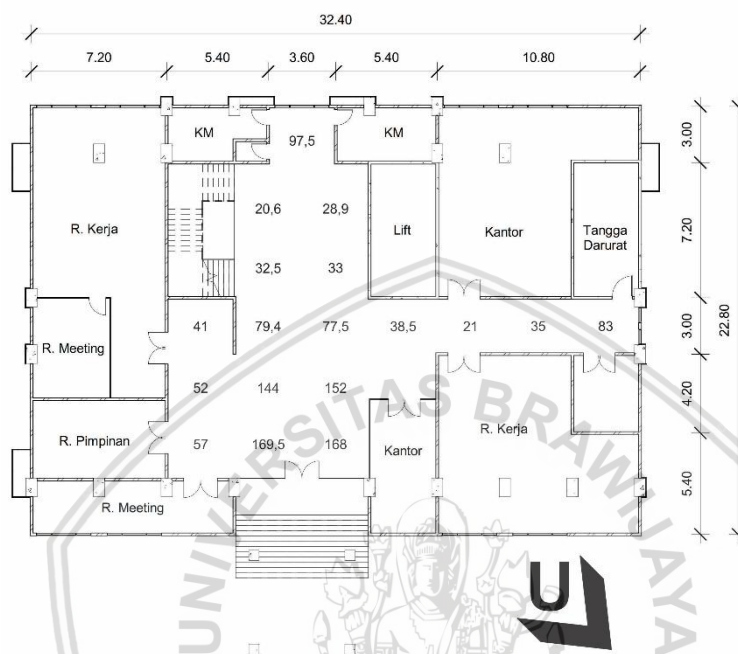
Sesuai yang telah dijelaskan pada poin sebelumnya, selubung bangunan menggunakan material utama dinding bata plester dan beton, dan menggunakan ACP (*Aluminium Composite Panel*) sebagai pelapis terluarnya. Sedangkan pada material pembentuk bidang transparan pada bangunan ini, menggunakan kaca *clear* satu lapis dengan bingkai aluminium.

Pengaruh penggunaan material – material diatas dapat berpengaruh terhadap konsumsi energi bangunan, terutama dengan terpaparnya material – material transparan terhadap sinar matahari langsung, dapat membuat energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan mendinginkan bangunan semakin besar.

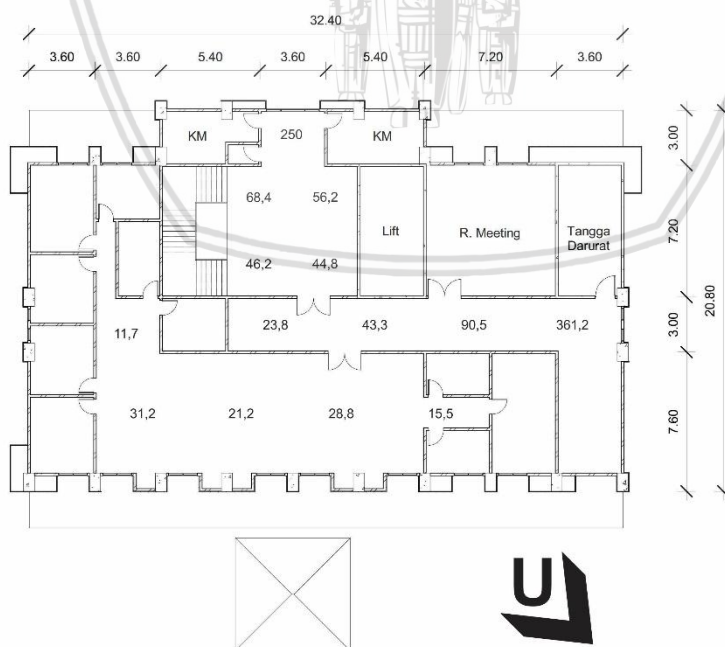
4.4.3 Pengumpulan Data Pencahayaan dan Suhu Bangunan

Proses pengumpulan data pencahayaan dan suhu bangunan dilakukan pada tanggal 30 Januari 2018, yang dilaksanakan pada 3 waktu, yaitu pada pukul 09.00, 12.00, dan 15.00. Berikut data yang berhasil dikumpulkan antara lain:

1. Pukul 09.00



Gambar 4. 16 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 1 pukul 09.00

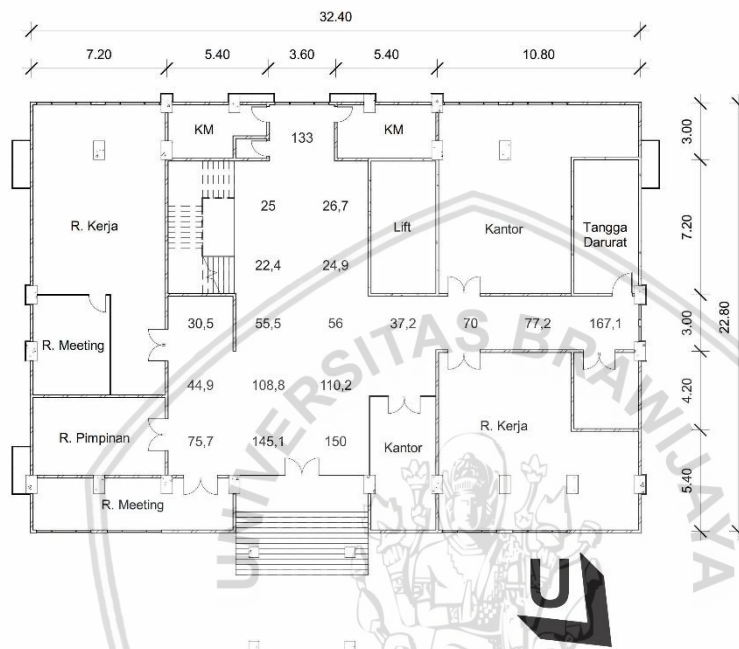


Gambar 4. 17 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 3 pukul 09.00

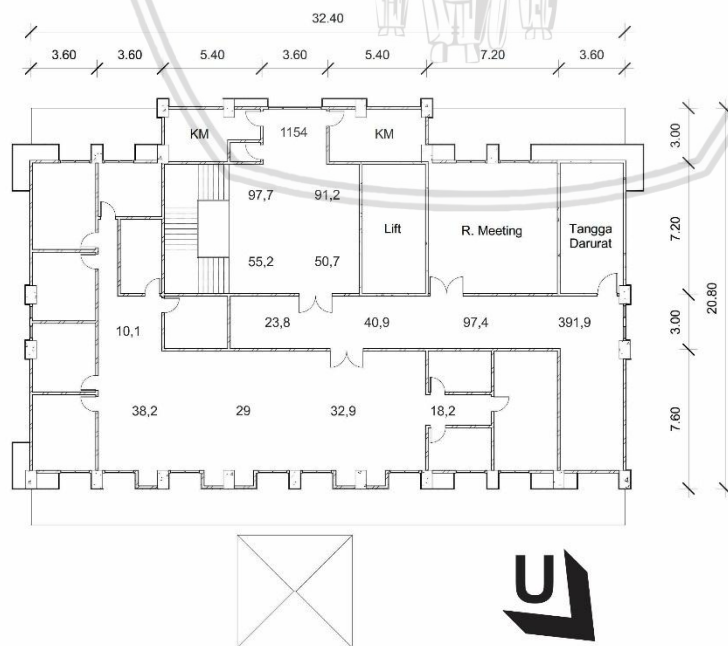
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran suhu pukul 09.00

Lantai ke-	Suhu Indoor (°C)	Suhu Outdoor (°C)
Lantai 1	26,8	30,4
Lantai 3	27,0	--

2. Pukul 12.00



Gambar 4. 18 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 1 pukul 12.00

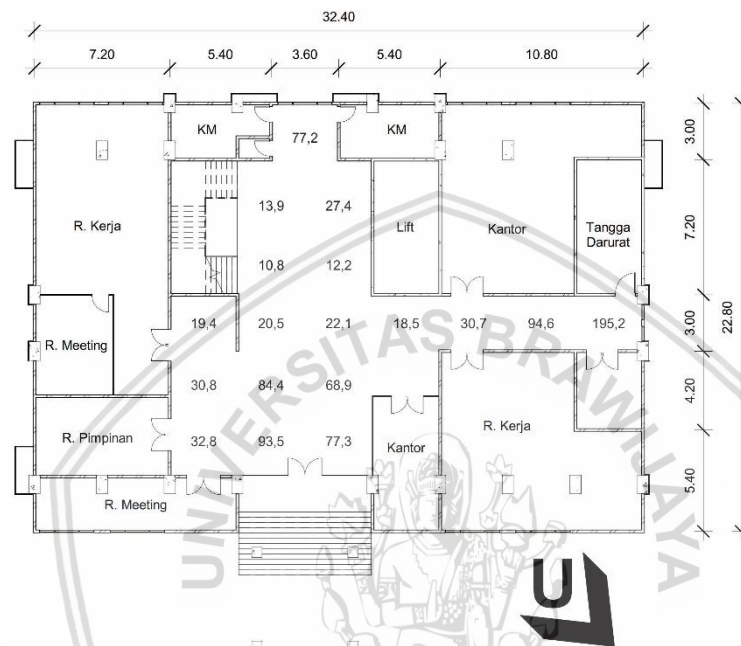


Gambar 4. 19 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 3 pukul 12.00

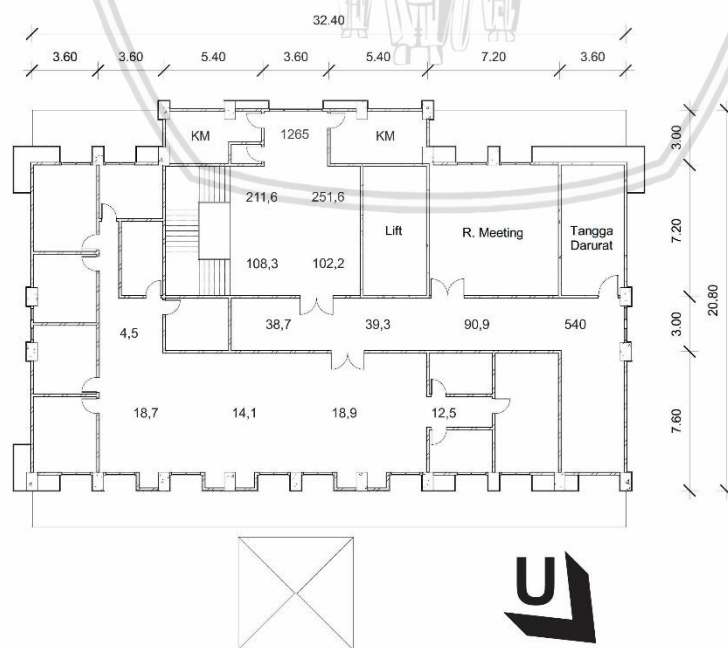
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran suhu pukul 12.00

Lantai ke-	Suhu Indoor (°C)	Suhu Outdoor (°C)
Lantai 1	27,0	29,0
Lantai 3	28,5	--

3. Pukul 15.00



Gambar 4. 20 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 1 pukul 15.00



Gambar 4. 21 Hasil pengukuran pencahayaan lantai 3 pukul 15.00

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran suhu pukul 15.00

Lantai ke-	Suhu Indoor (°C)	Suhu Outdoor (°C)
Lantai 1	27,3	26,9
Lantai 3	27,4	--

Jika dilihat pada SNI tentang kenyamanan ruang, standar kenyamanan visual pada ruang kerja kantor adalah sebesar 250 – 500 lux. Dan dari 3 waktu penelitian ini dilakukan, kenyamanan visual sama sekali tidak pernah tercapai di ruang kerja lantai 3, dengan rata – rata tingkat pencahayaan pada ruang tersebut adalah sekitar 20 lux (dalam kondisi semua pencahayaan buatan dimatikan). Hal ini juga disebabkan oleh adanya *glare* yang masuk sehingga memaksa pengguna ruang kerja untuk memasang kaca film dan gordena pada bukaan terkait untuk hanya mencegah *glare* tersebut masuk. Dan tentu saja dengan adanya penggunaan kaca film dan gordena, penggunaan pencahayaan buatan juga akan meningkat. Hal tersebut dianggap sebuah tindakan pemborosan energi, yang seharusnya bisa dicegah dengan perancangan bukaan yang lebih teliti.

Sedangkan untuk tingkat kenyamanan termal pada bangunan, yang berstandar berkisar antara 23°C - 26°C, bangunan ini cukup dapat menjaga agar panas dari udara luar tidak masuk kedalam bangunan meski belum memenuhi standar tingkat kenyamanan termal, dengan rata – rata suhu didalam bangunan adalah berkisar antara 27°C, hanya 1 derajat diatas tingkat kenyamanan. Hal ini bisa disebabkan oleh minimnya bukaan, sehingga tidak banyak bidang transparan yang mudah memasukkan panas kedalam bangunan.

4.5 Proses Pengolahan Data

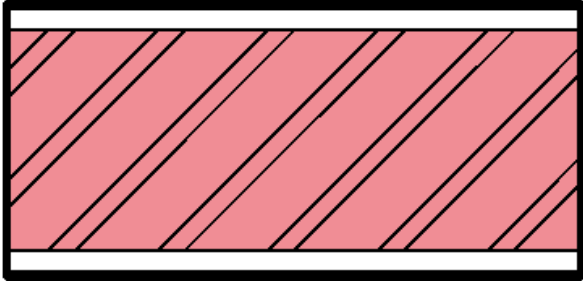

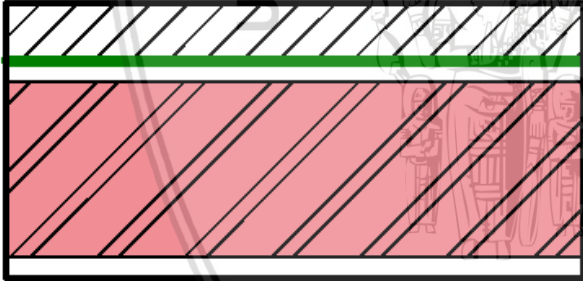

Dengan menggunakan data – data yang telah dikumpulkan pada proses sebelumnya, data tersebut diolah menjadi model 3 dimensi yang selanjutnya akan disimulasikan untuk membantu mencapai tujuan dari penelitian ini.

4.5.1 Proses Pembuatan Model Bangunan

Proses pembuatan model 3 dimensi bangunan dilakukan menggunakan *software* AEC (*Architecture, Engineering, and Construction*) berbasis BIM (*Building Information Modelling*), yaitu Autodesk Revit. *Software* ini dipilih karena bangunan yang didesain menggunakan *software* berbasis BIM memiliki data yang cukup untuk menganalisa performa energi dalam sebuah bangunan. Data tersebut dapat digunakan untuk membuat file input untuk simulasi energi bangunan secara otomatis.

Model Gedung Layanan Bersama dibuat menggunakan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Tabel spesifikasi bahan

Dinding	
Bata Merah + Plester	
	<p>Tebal 15 cm Koefisien Transfer Panas 3,98 W/(m²K) Ketahanan Termal 0,25 (m²K)/W</p>
Dinding Beton	
	<p>Tebal 15 cm Koefisien Transfer Panas 6,97 W/(m²K) Ketahanan Termal 0,14 (m²K)/W</p>
Bata Merah + ACP	
	<p>Tebal 19 cm Koefisien Transfer Panas 1,93 W/(m²K) Ketahanan Termal 0,51 (m²K)/W</p>
ACP	
	<p>Tebal 4 cm Koefisien Transfer Panas 3,75 W/(m²K) Ketahanan Termal 0,26 (m²K)/W</p>

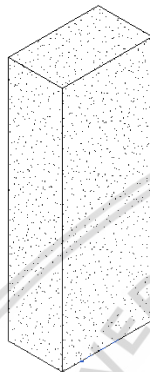
Dinding Kaca



Tebal
2.5 cm
Koefisien Transfer Panas
 $36,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ketahanan Termal
 $0,027 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$

Kolom

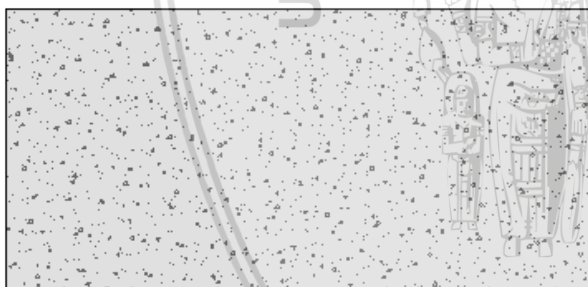
Kolom Beton



Ukuran
100 x 60 cm

Lantai

Flat Slab



Tebal
12 cm
Koefisien Transfer Panas
 $8,71 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ketahanan Termal
 $0,11 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$

Atap

Roof Tile

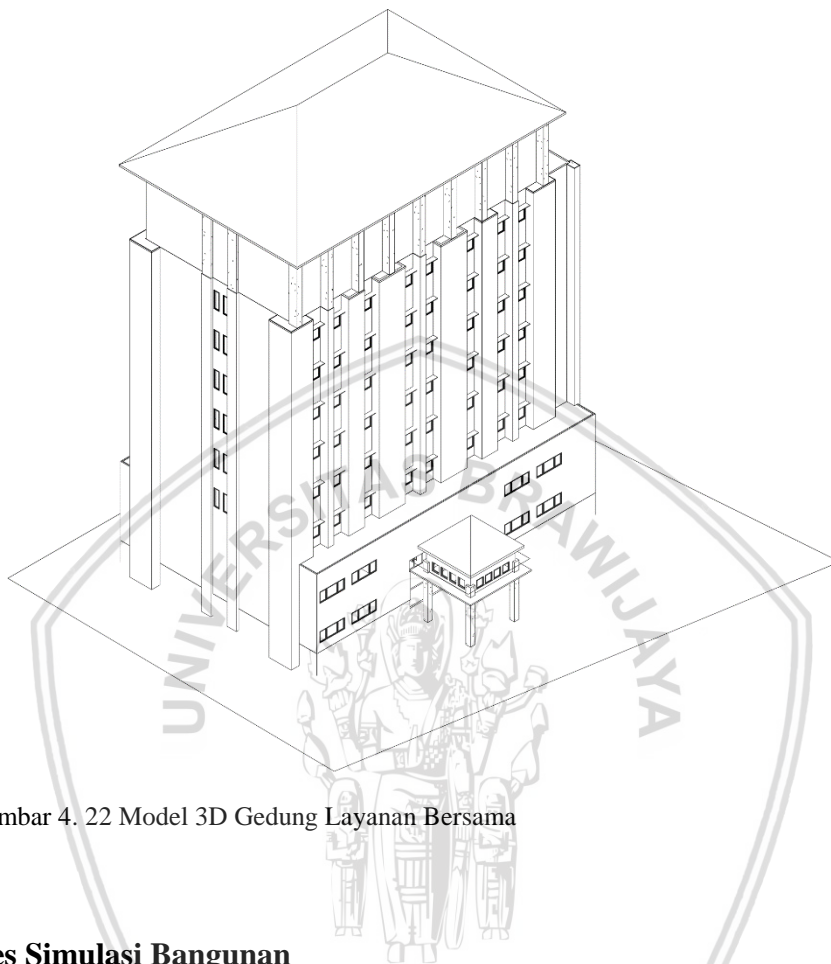
Koefisien Transfer Panas
 $5.51 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ketahanan Termal
 $0.18 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$

Bukaan

Kaca Clear

Tebal
0,5 cm
Koefisien Transfer Panas
 $110 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ketahanan Termal
 $0,0091 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$

Model dibuat dengan harapan untuk dapat menyerupai bangunan aslinya dengan semirip mungkin. Berikut model dari Gedung Layanan Brawijaya yang dihasilkan dari Revit:



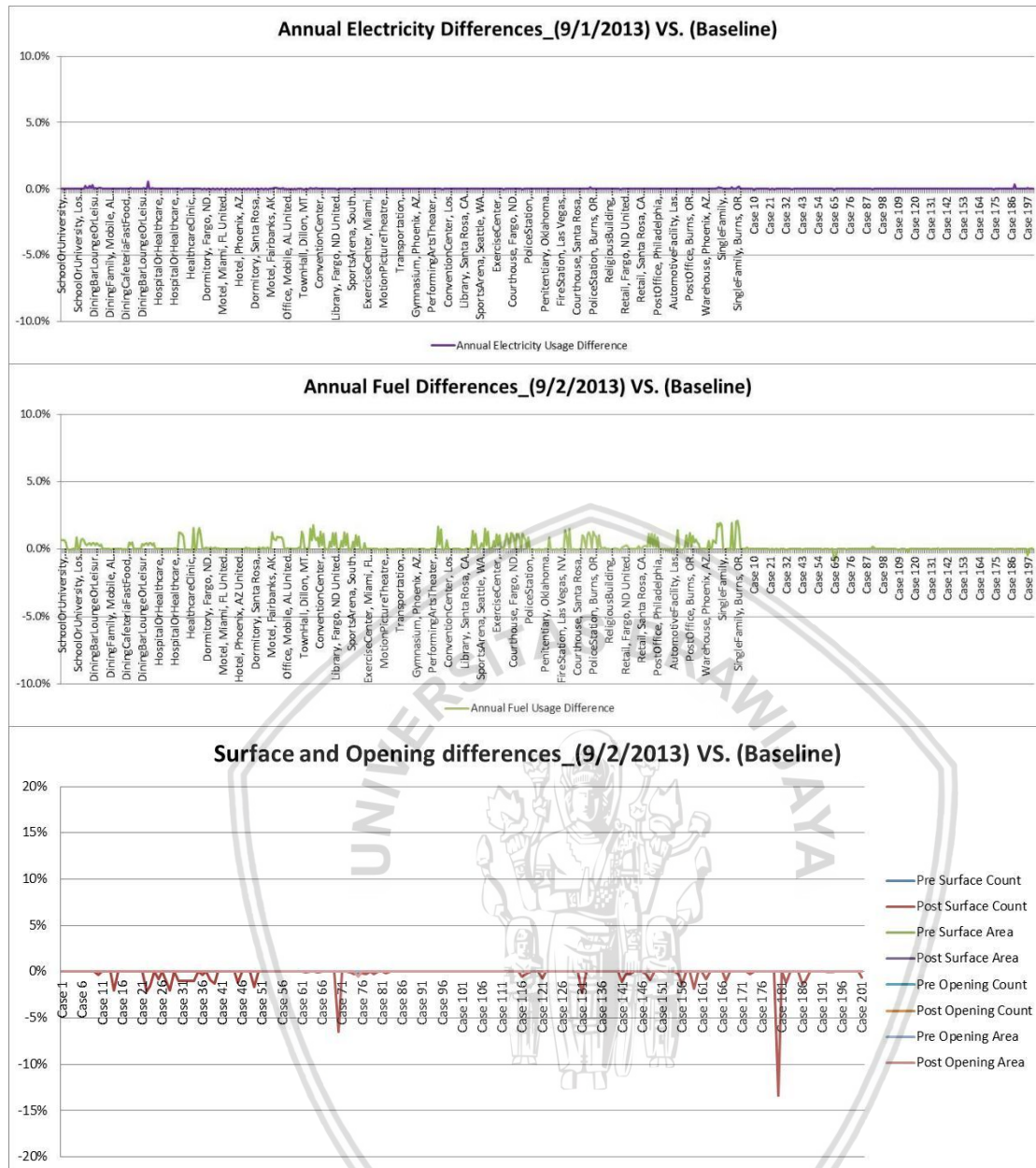
Gambar 4. 22 Model 3D Gedung Layanan Bersama

4.6 Proses Simulasi Bangunan

Setelah model dari gedung layanan Bersama selesai dibuat, model tersebut disimulasikan konsumsi energinya menggunakan *software* Autodesk Insight, yang merupakan *plug-in* analisis yang ada di Revit. Pada tahap ini, Insight digunakan didalam proses analisis konsumsi energi serta pencahayaannya.

4.6.1 Validasi *Software* Simulasi Bangunan

Validasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah validasi *software*. Autodesk Insight beserta *engine* simulasi yang digunakan, yaitu Green Building Studio, telah divalidasi oleh ANSI/ASHRAE Standard 140-2011, yang merupakan tes yang telah diterima dan diakui oleh industri – industri yang ada. Tes validasi tersebut rutin dilakukan disetiap keluaran baru *software* tersebut. Sehingga bisa diasumsikan bahwa simulasi yang dijalankan menggunakan *software* tersebut bisa dipertanggungjawabkan validitasnya.



Gambar 4. 23 Hasil tes regresi analisis Green Building Studio

Sumber: Autodesk, 2013

Perbedaan jumlah “permukaan” dikarenakan Green Building Studio memecah permukaan pembayang menjadi beberapa bagian kecil untuk simulasi DOE-2. Perubahan jumlah permukaan dari 17 ke 15 (13%) tidak memiliki pengaruh terhadap hasil energi.

4.6.2 Parameter Modifikasi Bangunan

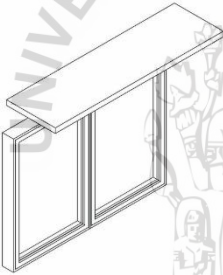
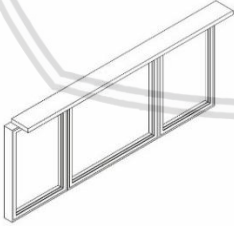

Pada proses modifikasi dan simulasi energi pada bangunan, terdapat beberapa batasan fisik yang dapat dilakukan. Selain batasan – batasan tersebut, penggunaan teori dan temuan dari studi – studi terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini juga dapat membantu mempercepat dan membuat proses modifikasi lebih efisien. Dengan tujuan utama

memodifikasi bukaan adalah untuk memaksimalkan cahaya matahari masuk kedalam bangunan sehingga dapat mengurangi penggunaan lampu, sedangkan tujuan memodifikasi pembayang adalah mengurangi radiasi matahari yang masuk kedalam bangunan, sehingga panas yang masuk kedalam dapat dipangkas.

1. Parameter Bukaan

Perubahan pada bukaan dibatasi hanya dengan jarak antara bukaan dengan lantai, dan jarak antara bukaan dengan langit – langit. Hal ini disebabkan karena semua bukaan pada bangunan ini berbatasan langsung dengan dinding ataupun kolom, sehingga lebar dari bukaan – bukaan ini tidak dapat diubah menjadi lebih besar. Pada simulasi tahap ini, masing – masing modifikasi bukaan memiliki lebar dan posisi yang sama, sesuai dengan eksisting.

Tabel 4. 7 Tabel batasan modifikasi bukaan

 <p>Bukaan I</p>	<p>Lebar = 160 cm Tinggi = 0<variabel<285 cm</p>
 <p>Bukaan II</p>	<p>Lebar = 290 cm Tinggi = 0<variabel<285 cm</p>
 <p>Bukaan III</p>	<p>Lebar = 65 cm Tinggi = 0<variabel<285 cm</p>

Kemudian, untuk menentukan ukuran pasti dari tinggi bukaan agar bisa disimulasikan, dapat menggunakan perbandingan antara tinggi jendela dengan kedalaman ruang pada iklim tropis. Perbandingan tersebut yaitu kedalaman maksimal ruang 4.3 – 4.5 kali dari tinggi bukaan pada sisi barat & timur, 3,5 – 4,3 kali tinggi bukaan pada sisi utara & selatan, jika dengan anggapan ingin mencapai pencahayaan alami bernilai 500 lux pada sisi terdalam ruangan (Ossen, 2005). Dengan mempertimbangkan hal tersebut, ukuran bukaan yang dipakai pada saat simulasi adalah:

Tabel 4. 8 Tabel besaran bukaan yang akan diterapkan kedalam bangunan

Bukaan	Tinggi Bukaan
I	a. 1,95 m b. 1,7 m c. 1,55 m
II	a. 2,85 m b. 2,6 m c. 2,4 m
III	a. 2,1 m b. 1,85 m c. 1,65 m

Modifikasi besaran bukaan dilakukan menggunakan *engine daylighting simulation* pada *software* Autodesk Insight, dengan memasukkan alternatif – alternatif yang terdapat pada tabel diatas untuk disimulasikan. Selanjutnya, Insight akan secara otomatis melakukan simulasi dengan mempertimbangkan data – data yang telah dimasukkan sebelumnya. Kondisi iklim yang digunakan dalam proses simulasi tahap ini adalah kondisi iklim pada tanggal – tanggal dimana matahari berada di khatulistiwa, di posisi paling utara dan posisi paling selatan. Tanggal – tanggal tersebut antara lain adalah 21 Maret, 21 Juni, 22 September dan 23 Desember.

Parameter kesuksesan simulasi pada tahap ini adalah persentase tingkat iluminasi ideal di ruang kerja, lobby dan koridor setelah menggunakan ukuran

bukaan yang termodifikasi. Alternatif modifikasi yang memiliki persentase tingkat iluminasi ideal paling tinggi akan dipilih kedalam tahapan simulasi selanjutnya.

2. Parameter Pembayang

Kondisi pembayang eksisting memiliki panjang sekitar 50cm pada bukaan I, 20 cm pada bukaan II, sedangkan bukaan III tidak memiliki pembayang sama sekali. Oleh karena itu optimalisasi pembayang pada bangunan diperlukan untuk mengurangi radiasi matahari yang dapat masuk kedalam bangunan. Perubahan ukuran dan jenis pembayang ditentukan dengan menggunakan perbandingan OHR (*Overhang Height Ratio*) atau rasio antara panjang overhang dibandingkan dengan tinggi bukaan.

Tabel 4. 9 Tabel perbandingan OHR di tiap – tiap orientasi bukaan

Alternatif	OHR			
	Utara	Selatan	Timur	Barat
1	0,167	0,167	0,167	0,167
2	0,25	0,25	0,25	0,25
3	0,334	0,334	0,334	0,334
4	0,5	0,5	0,5	0,5
5	0,67	0,67	0,67	0,67

Modifikasi besaran pembayang dilakukan menggunakan *whole building energy analysis simulation* pada *software* Autodesk Insight, dengan memasukkan alternatif – alternatif panjang pembayang berdasarkan OHR dari tinggi jendela terpilih pada tahap sebelumnya. Simulasi pada tahap ini merupakan simulasi yang mencakup konsumsi energi bangunan tersebut selama setahun penuh, tidak hanya pada satu hari saja.

Parameter kesuksesan simulasi pada tahap ini adalah berkurangnya energi yang dikonsumsi bangunan berkurang jika dibandingkan dengan eksisting ataupun dengan simulasi tahap sebelumnya.

3. Paramater Material

Pada bangunan eksisting, yaitu Gedung Layanan Bersama, menggunakan kaca bening 1 lapis secara menyeluruh di setiap bukaan – bukaan yang ada. Material kaca memiliki pengaruh terhadap kadar transmisi radiasi matahari yang masuk kedalam bangunan. Kaca bening biasa dapat menyalurkan panas lebih jika dibandingkan dengan kaca rendah emisi. Oleh karena itu, parameter yang dijadikan acuan dalam penentuan material kaca yang digunakan pada rekomendasi bangunan adalah penghematan energi, beserta potensi ekonomi dari masing – masing material tersebut. Berikut beberapa jenis material yang digunakan selama proses modifikasi, antara lain:

- a. Kaca biasa lapis ganda
- b. Kaca rendah emisi (Lo-E) lapis ganda
- c. Kaca rendah emisi (Lo-E) tiga lapis

4.6.3 Modifikasi Bukaan

Tabel 4. 10 Skenario simulasi bukaan

Bukaan	Alt.	Tinggi (cm)	Waktu			
I	1	195	21 Maret	21 Juni	23 September	22 Desember
	2	170				
	3	155				
II	1	285				
	2	260				
	3	240				
III	1	210				
	2	185				
	3	165				

Seperti pada tabel diatas, *Daylighting Simulation* yang dilakukan pada tahap ini dilakukan pada 9 alternatif bukaan (1 jenis bukaan 3 jenis alternatif ukuran) pada 4 waktu berbeda (21 Maret, 21 Juni, 22 September dan 23 Desember) pukul 12 siang. Ruangan yang diteliti adalah lobby utama lantai dasar, lobby tower, koridor kantor beserta ruang kerja pada lantai 3. Sedangkan ukuran pembayang tetap menggunakan pembayang eksisting. Batas kenyamanan yang digunakan disini berkisar antara 250-750 lux, yaitu standar tingkat kenyamanan visual pada ruang kantor intensitas rendah (250 lux) dan tinggi (750 lux).

1. 21 Maret

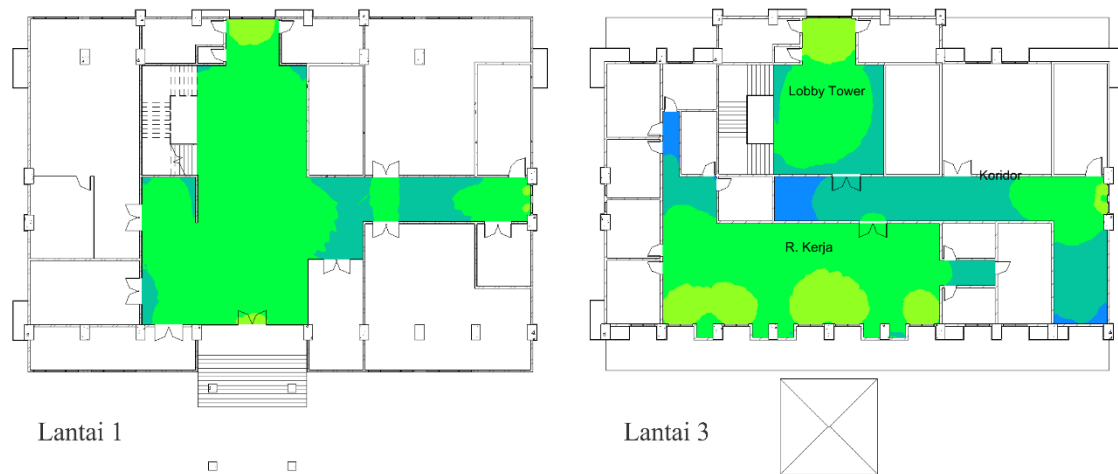


Gambar 4. 24 Kontur cahaya alternatif 1 pada 21 Maret

Tabel 4. 11 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 21 Maret

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	0.00%	0.000 m ²	96.97%	206.168 m ²	3.03%	6.434 m ²
	Ruang Kerja	I-1	0.19%	0.270 m ²	66.92%	94.751 m ²	32.89%	46.565 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-1	0.00%	0.000 m ²	84.35%	51.101 m ²	15.65%	9.481 m ²
	Koridor Kantor	III-1	0.00%	0.000 m ²	98.61%	82.080 m ²	1.39%	1.156 m ²

Pada simulasi alternatif 1 tanggal 21 Maret, bisa dibilang hampir semua bukaan yang digunakan cenderung kurang bisa mendapatkan cahaya, karena semua ruangan memiliki persentase dibawah batas nyaman lebih dari 67%.

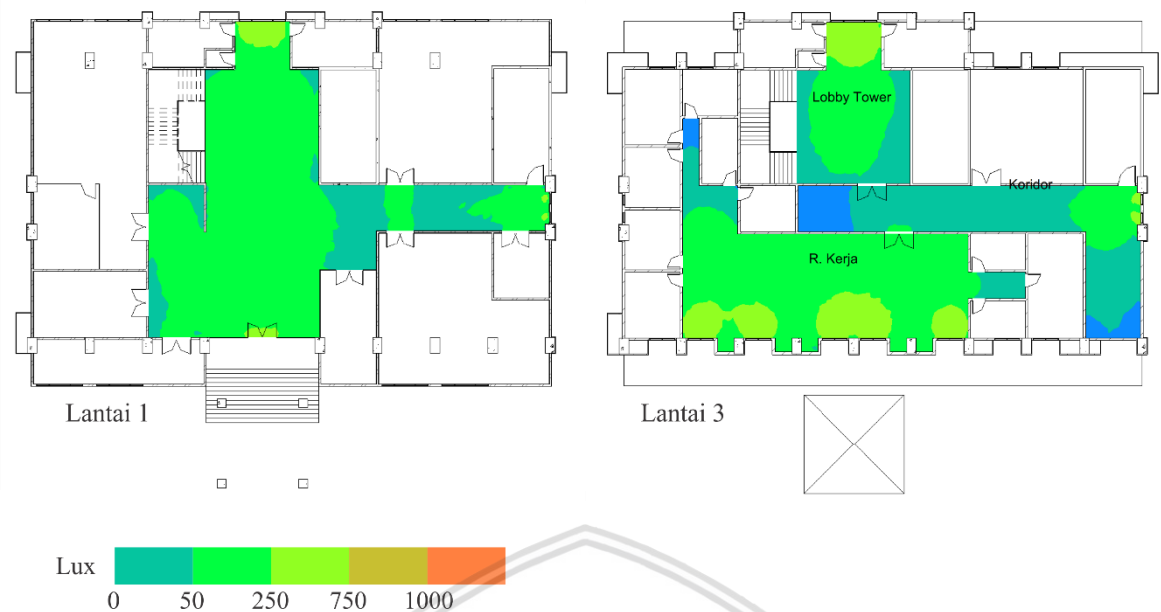


Gambar 4. 25 Kontur cahaya alternatif 2 pada 21 Maret

Tabel 4. 12 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 21 Maret

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-2, III-2	0.00%	0.000 m ²	97.46%	207.209 m ²	2.54%	5.393 m ²
	Ruang Kerja	I-2	0.06%	0.090 m ²	77.16%	109.252 m ²	22.77%	32.244 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-2	0.00%	0.000 m ²	85.29%	51.669 m ²	14.71%	8.912 m ²
	Koridor Kantor	III-2	0.00%	0.000 m ²	98.61%	82.080 m ²	1.39%	1.156 m ²

Pada simulasi alternatif 2 tanggal 21 Maret, persentase area yang didalam batas nyaman semakin mengecil, dan pada koridor kantor hampir sepenuhnya dibawah batas kenyamanan visual.



Gambar 4. 26 Kontur cahaya alternatif 3 pada 21 Maret

Tabel 4. 13 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 21 Maret

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-3, III-3	0.00%	0.000 m ²	97.51%	207.304 m ²	2.49%	5.299 m ²
	Ruang Kerja	I-3	0.00%	0.000 m ²	82.06%	116.187 m ²	17.94%	25.399 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-3	0.00%	0.000 m ²	86.54%	52.428 m ²	13.46%	8.153 m ²
	Koridor Kantor	III-3	0.00%	0.000 m ²	99.15%	82.525 m ²	0.85%	0.711 m ²

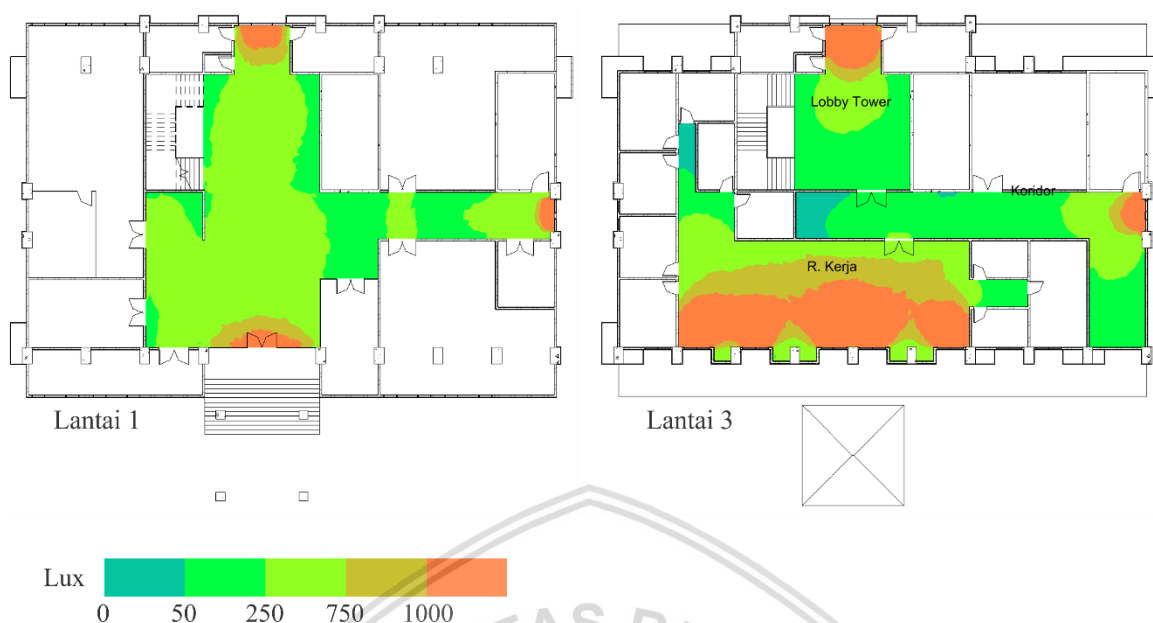
Pada alternatif 3, dengan mengecilnya ukuran bukaan, semakin besar pula persentase area yang dibawah batas kenyamanan, dengan seluruh ruangan setidaknya memiliki 80% area dibawah batas kenyamanan visual.

Tabel 4. 14 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 21 Maret

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	0.00%	0.000 m ²	96.97%	206.168 m ²	3.03%	6.434 m ²
		II-2, III-2	0.00%	0.000 m ²	97.46%	207.209 m ²	2.54%	5.393 m ²
		II-2, III-3	0.00%	0.000 m ²	97.51%	207.304 m ²	2.49%	5.299 m ²
Lantai 3	Ruang Kerja	I-1	0.19%	0.270 m ²	66.92%	94.751 m ²	32.89%	46.565 m ²
		I-2	0.06%	0.090 m ²	77.16%	109.252 m ²	22.77%	32.244 m ²
		I-3	0.00%	0.000 m ²	82.06%	116.187 m ²	17.94%	25.399 m ²
	Lobby Tower	II-1	0.00%	0.000 m ²	84.35%	51.101 m ²	15.65%	9.481 m ²
		II-2	0.00%	0.000 m ²	85.29%	51.669 m ²	14.71%	8.912 m ²
		II-3	0.00%	0.000 m ²	86.54%	52.428 m ²	13.46%	8.153 m ²
	Koridor Kantor	III-1	0.00%	0.000 m ²	98.61%	82.080 m ²	1.39%	1.156 m ²
		III-2	0.00%	0.000 m ²	98.61%	82.080 m ²	1.39%	1.156 m ²
		III-3	0.00%	0.000 m ²	99.15%	82.525 m ²	0.85%	0.711 m ²

Pada simulasi yang dilakukan menggunakan data iklim tanggal 21 Maret, yaitu pada saat musim penghujan dan matahari tepat berada diatas khatulistiwa, semua performa bukaan cenderung kurang. Hal tersebut bisa disimpulkan jika melihat rata – rata dari area yang kurang mendapat cahaya pada seluruh ruangan adalah 89,22%. Namun jika dilihat perbedaan performa dari alternatif I-1 dan I-2 pada ruang kerja, pembesaran ukuran bukaan memiliki dampak yang cukup terlihat, yaitu I-1 memiliki area yang didalam batas nyaman 10% lebih banyak dibandingkan I-2.

2. 21 Juni

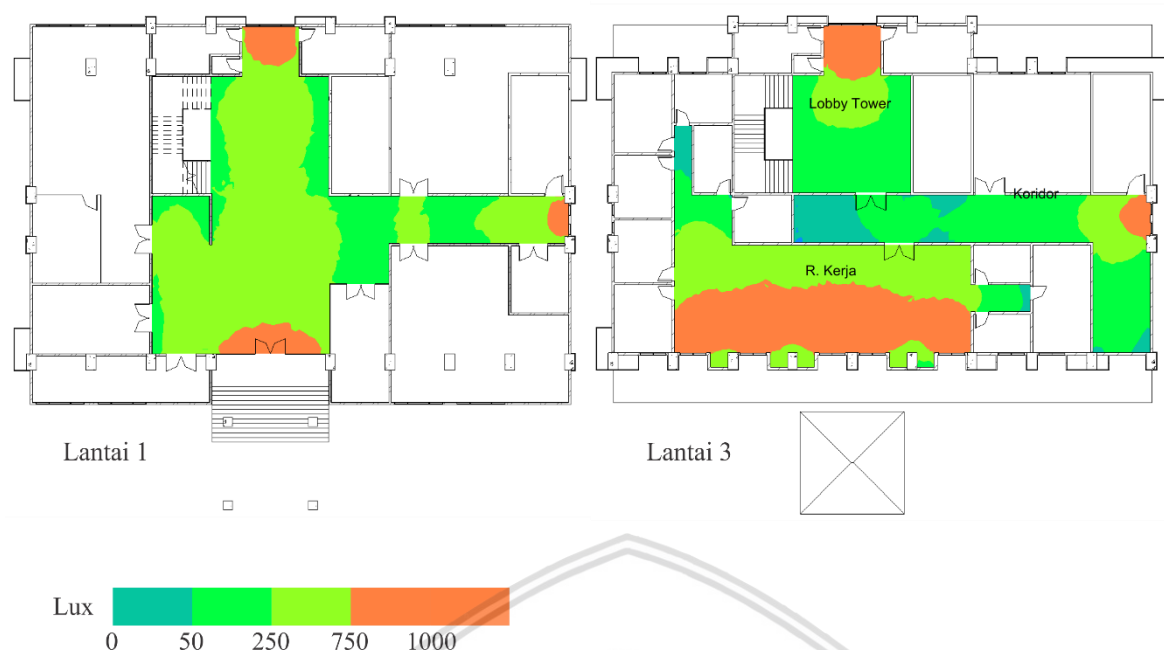


Gambar 4. 27 Kontur cahaya alternatif 1 pada 21 Juni

Tabel 4. 15 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 21 Juni

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	8.23%	17.504 m ²	22.43%	47.687 m ²	69.34%	147.412 m ²
	Ruang Kerja	I-1	60.11%	85.114 m ²	11.90%	16.843 m ²	27.99%	39.630 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-1	17.37%	10.524 m ²	60.09%	36.406 m ²	22.54%	13.652 m ²
	Koridor Kantor	III-1	5.24%	4.357 m ²	75.43%	62.783 m ²	19.34%	16.096 m ²

Berdasarkan tabel diatas, ruang kerja dimasuki cahaya terlalu banyak, yang disebabkan oleh bukaan yang terlalu besar. Bahkan jika dilihat dari persentasenya, pada ruangan tersebut lebih banyak yang berada diatas batas nyaman dibandingkan dengan yang nyaman dan terlalu gelap. Performa tersebut berbeda dengan bukaan II & III pada lantai 3, yang jika dirata – rata memiliki area yang terlalu gelap sekitar 70%.



Gambar 4. 28 Kontur cahaya alternatif 2 pada 21 Juni

Tabel 4. 16 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 21 Juni

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-2, III-2	7.65%	16.274 m ²	24.21%	51.471 m ²	68.14%	144.857 m ²
	Ruang Kerja	I-2	44.66%	63.227 m ²	12.79%	18.104 m ²	42.56%	60.255 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-2	16.12%	9.765 m ²	61.50%	37.259 m ²	22.38%	13.557 m ²
	Koridor Kantor	III-2	3.85%	3.201 m ²	82.91%	69.008 m ²	13.25%	11.027 m ²

Meskipun ukuran bukaan sudah semakin mengecil, pada ruang kerja masih memiliki banyak area yang terlalu terang dibandingkan dengan jumlah area yang berada didalam batas kenyamanan visual, walaupun perbedaannya sudah semakin menipis (44,6% : 42,5%).



Gambar 4. 29 Kontur cahaya alternatif 3 pada 21 Juni

Tabel 4. 17 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 21 Juni

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-3, III-3	6.32%	13.435 m ²	28.39%	60.365 m ²	65.29%	138.802 m ²
	Ruang Kerja	I-3	32.82%	46.475 m ²	14.89%	21.076 m ²	52.29%	74.035 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-3	15.81%	9.575 m ²	65.41%	39.629 m ²	18.78%	11.377 m ²
	Koridor Kantor	III-3	2.67%	2.223 m ²	84.19%	70.075 m ²	13.14%	10.938 m ²

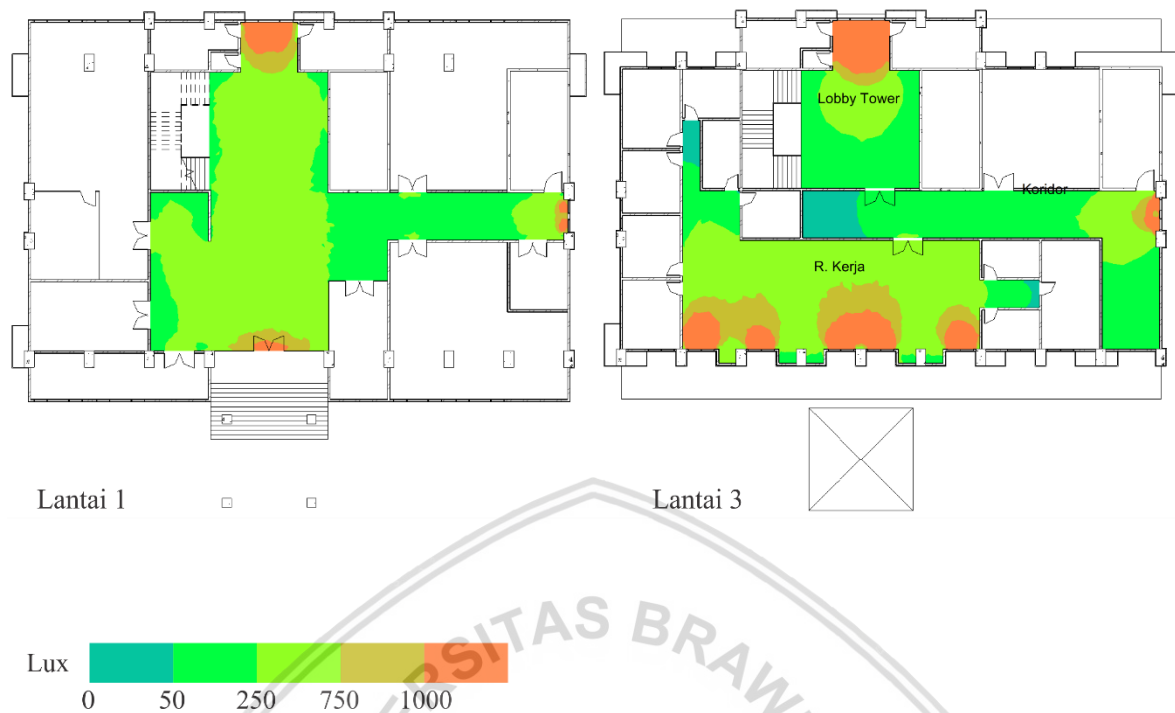
Pada area lobby dan koridor di lantai 3, terutama pada koridor (75% → 84%), area ruang yang berada dibawah batas nyaman semakin meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran bukaan yang berada pada ruangan tersebut.

Tabel 4. 18 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 21 Juni

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	8.23%	17.504 m ²	22.43%	47.687 m ²	69.34%	147.412 m ²
		II-2, III-2	7.65%	16.274 m ²	24.21%	51.471 m ²	68.14%	144.857 m ²
		II-2, III-3	6.32%	13.435 m ²	28.39%	60.365 m ²	65.29%	138.802 m ²
Lantai 3	Ruang Kerja	I-1	60.11%	85.114 m ²	11.90%	16.843 m ²	27.99%	39.630 m ²
		I-2	44.66%	63.227 m ²	12.79%	18.104 m ²	42.56%	60.255 m ²
		I-3	32.82%	46.475 m ²	14.89%	21.076 m ²	52.29%	74.035 m ²
	Lobby Tower	II-1	17.37%	10.524 m ²	60.09%	36.406 m ²	22.54%	13.652 m ²
		II-2	16.12%	9.765 m ²	61.50%	37.259 m ²	22.38%	13.557 m ²
		II-3	15.81%	9.575 m ²	65.41%	39.629 m ²	18.78%	11.377 m ²
	Koridor Kantor	III-1	5.24%	4.357 m ²	75.43%	62.783 m ²	19.34%	16.096 m ²
		III-2	3.85%	3.201 m ²	82.91%	69.008 m ²	13.25%	11.027 m ²
		III-3	2.67%	2.223 m ²	84.19%	70.075 m ²	13.14%	10.938 m ²

Simulasi yang ditunjukkan pada tabel diatas menggunakan kondisi iklim pada tanggal 21 Juni, dimana matahari berada di posisi paling utara, dan kondisi cuaca sedang dalam musim kemarau. Dan karena posisi matahari condong ke utara, hal tersebut mencerminkan hasil simulasi pada ruang kerja di lantai 3, dimana cahaya yang masuk jauh terlalu banyak. Justru apabila bukaan I pada ruang kerja semakin dikurangi, semakin banyak pula area yang berada didalam batas kenyamanan visual.

3. 23 September

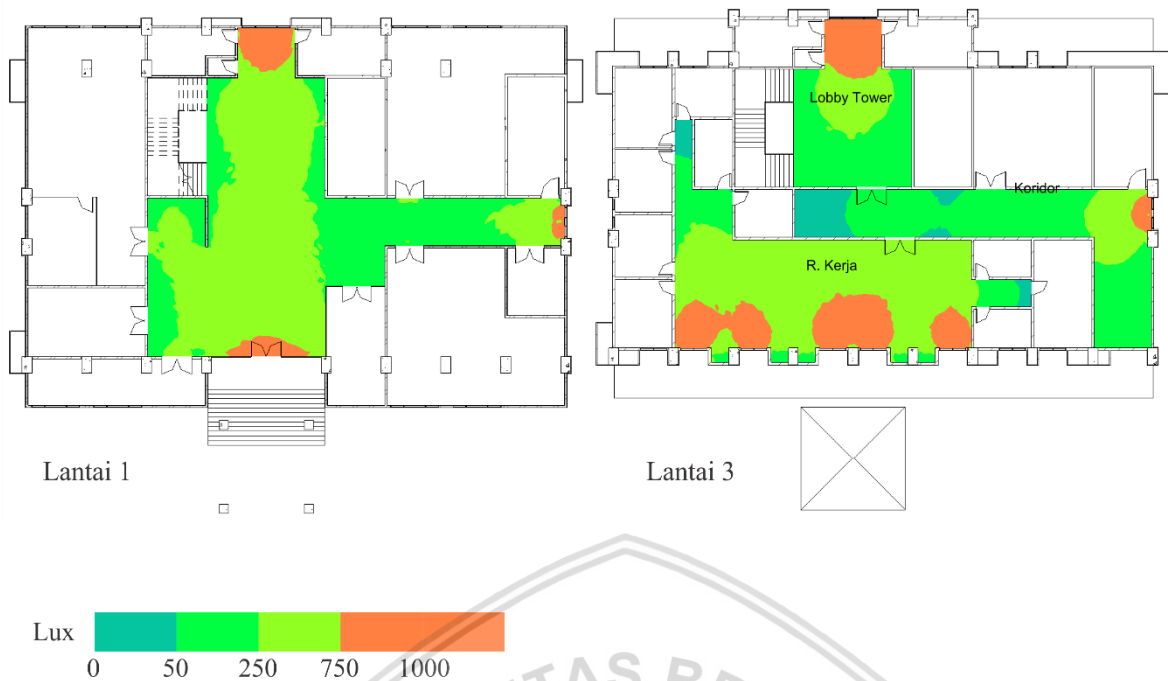


Gambar 4. 30 Kontur cahaya alternatif 1 pada 23 September

Tabel 4. 19 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 23 September

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	6.59%	14.003 m ²	28.48%	60.554 m ²	64.93%	138.045 m ²
	Ruang Kerja	I-1	27.23%	38.549 m ²	14.76%	20.896 m ²	58.02%	82.141 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-1	20.50%	12.420 m ²	53.99%	32.708 m ²	25.51%	15.453 m ²
	Koridor Kantor	III-1	3.10%	2.579 m ²	80.02%	66.607 m ²	16.88%	14.051 m ²

Pada alternatif pertama ini, hasil simulasi pada lantai 1 cukup baik, meski lebih dari seperempat dari total ruang masih dibawah batas kenyamanan visual. Tetapi hal tersebut masih bisa ditolerir melihat ruangan lobby yang cukup luas dan memiliki koridor – koridor yang cukup panjang.

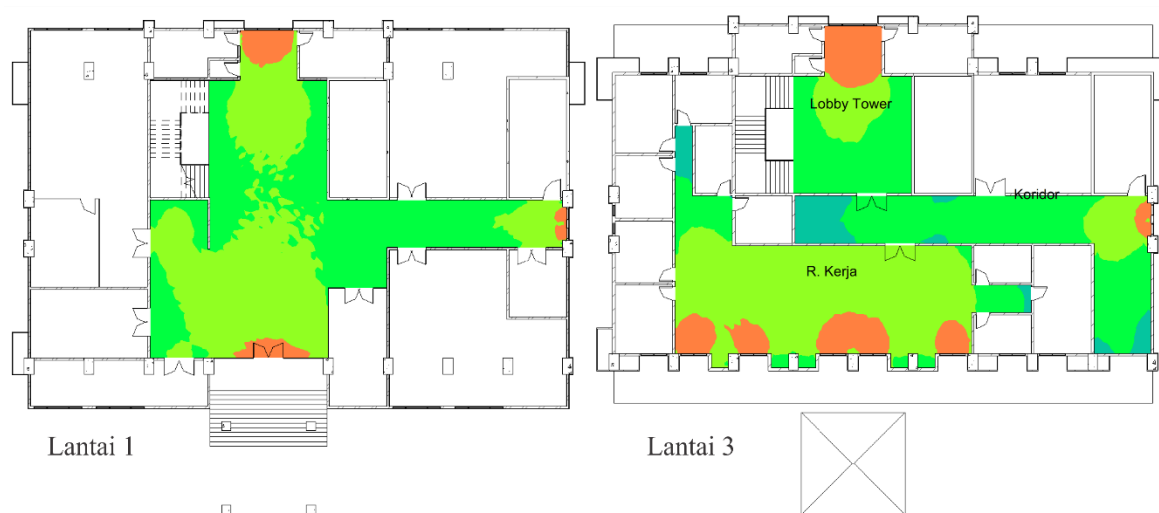


Gambar 4. 31 Kontur cahaya alternatif 2 pada 23 September

Tabel 4. 20 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 23 September

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-2, III-2	5.47%	11.638 m ²	32.93%	70.016 m ²	61.59%	130.949 m ²
	Ruang Kerja	I-2	21.88%	30.983 m ²	15.71%	22.247 m ²	62.40%	88.356 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-2	18.31%	11.092 m ²	57.59%	34.889 m ²	24.10%	14.600 m ²
	Koridor Kantor	III-2	2.14%	1.779 m ²	83.23%	69.275 m ²	14.64%	12.183 m ²

Kondisi pencahayaan yang dihasilkan oleh alternatif 2 pada ruang kerja cukup ideal, dengan 62% berada di kondisi nyaman visual. Sedangkan pada lobby tower dan koridor, cahaya semakin berkurang dengan area yang masuk kedalam batas kenyamanan tidak sampai seperempat dari total ruangan.



Gambar 4. 32 Kontur cahaya alternatif 3 pada 23 September

Tabel 4. 21 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 23 september

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-3, III-3	4.49%	9.556 m ²	45.35%	96.414 m ²	50.16%	106.632 m ²
	Ruang Kerja	I-3	14.89%	21.076 m ²	16.22%	22.967 m ²	68.89%	97.543 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-3	19.09%	11.566 m ²	59.00%	35.742 m ²	21.91%	13.273 m ²
	Koridor Kantor	III-3	1.60%	1.334 m ²	85.79%	71.409 m ²	12.61%	10.493 m ²

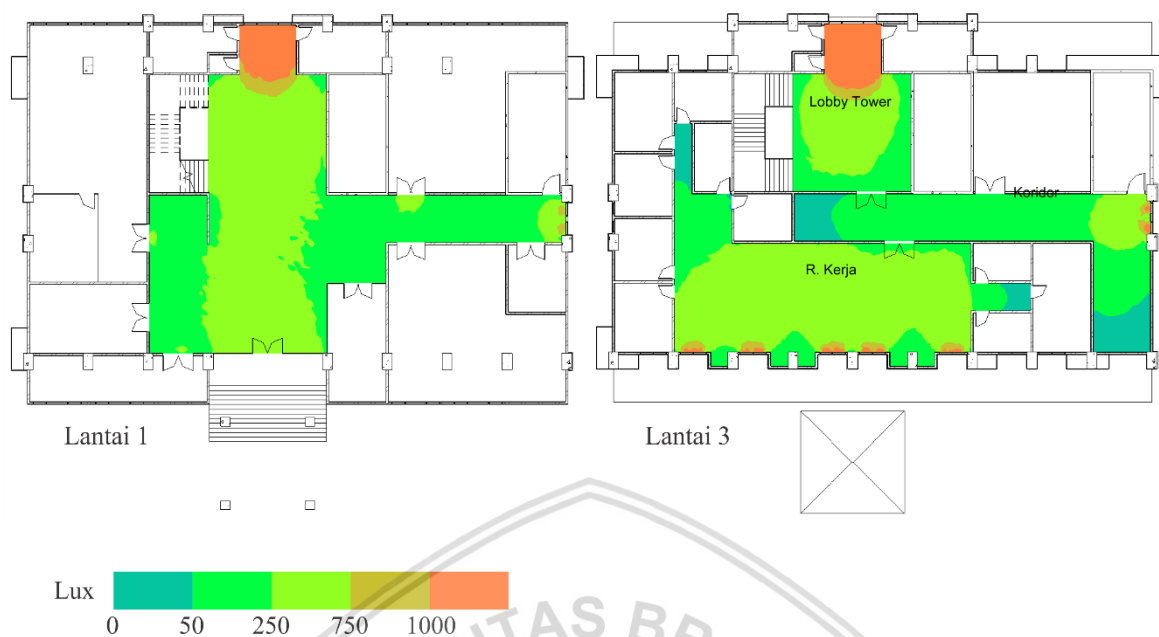
Jumlah area yang termasuk dalam kategori nyaman secara visual pada ruang kerja semakin besar, dan diikuti dengan turunnya bagian ruang yang terlalu terang. Sedangkan pada ruangan – ruangan lain, terutama lobby utama semakin gelap.

Tabel 4. 22 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 23 September

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	6.59%	14.003 m ²	28.48%	60.554 m ²	64.93%	138.045 m ²
		II-2, III-2	5.47%	11.638 m ²	32.93%	70.016 m ²	61.59%	130.949 m ²
		II-2, III-3	4.49%	9.556 m ²	45.35%	96.414 m ²	50.16%	106.632 m ²
Lantai 3	Ruang Kerja	I-1	27.23%	38.549 m ²	14.76%	20.896 m ²	58.02%	82.141 m ²
		I-2	21.88%	30.983 m ²	15.71%	22.247 m ²	62.40%	88.356 m ²
		I-3	14.89%	21.076 m ²	16.22%	22.967 m ²	68.89%	97.543 m ²
	Lobby Tower	II-1	20.50%	12.420 m ²	53.99%	32.708 m ²	25.51%	15.453 m ²
		II-2	18.31%	11.092 m ²	57.59%	34.889 m ²	24.10%	14.600 m ²
		II-3	19.09%	11.566 m ²	59.00%	35.742 m ²	21.91%	13.273 m ²
	Koridor Kantor	III-1	3.10%	2.579 m ²	80.02%	66.607 m ²	16.88%	14.051 m ²
		III-2	2.14%	1.779 m ²	83.23%	69.275 m ²	14.64%	12.183 m ²
		III-3	1.60%	1.334 m ²	85.79%	71.409 m ²	12.61%	10.493 m ²

23 September, tanggal yang dipilih dalam simulasi diatas adalah tanggal dimana matahari berada tepat di khatulistiwa, dan merupakan saat dimana sedang musim kemarau. Pada simulasi ini, lobby tower dan koridor kantor berada dalam kondisi kekurangan pencahayaan, dengan rata – rata kurang lebih hanya 17% yang berada didalam batas kenyamanan. Sedangkan pada lobby utama dan ruang kerja, lebih dari setengah luas ruang berada di kondisi pencahayaan ideal, pada semua alternatif.

4. 22 Desember

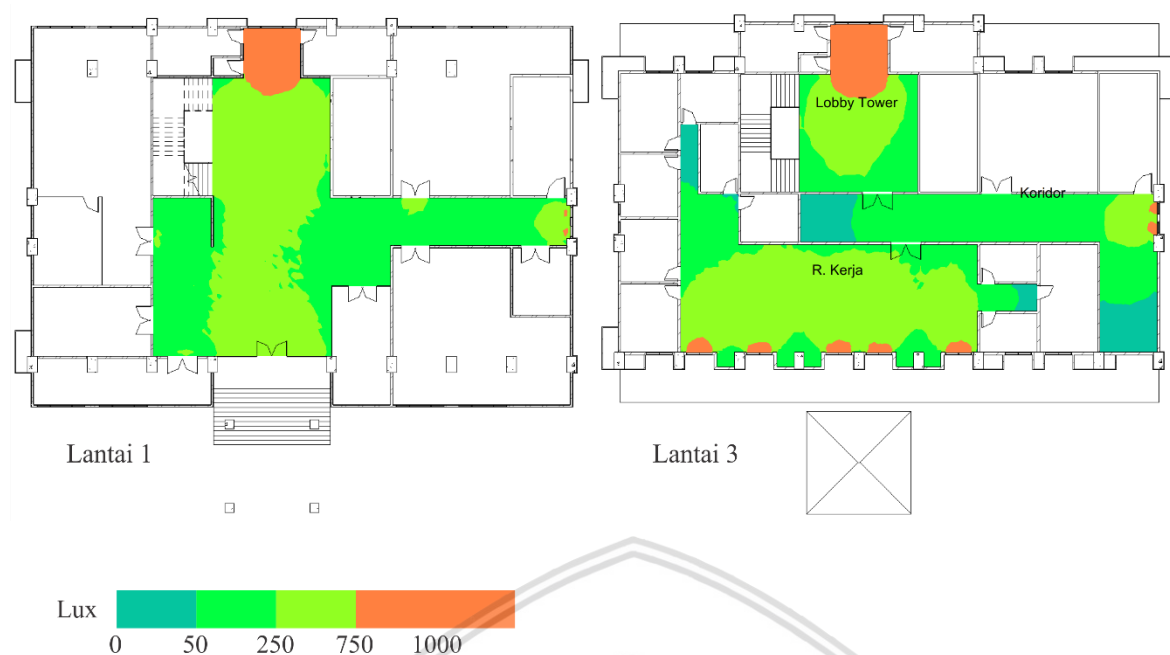


Gambar 4. 33 Kontur cahaya alternatif 1 pada 22 Desember

Tabel 4. 23 Persentase kenyamanan alternatif 1 pada 22 Desember

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	6.81%	14.476 m ²	42.32%	89.980 m ²	50.87%	108.146 m ²
	Ruang Kerja	I-1	3.18%	4.503 m ²	28.69%	40.620 m ²	68.13%	96.462 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-1	24.41%	14.790 m ²	30.52%	18.487 m ²	45.07%	27.304 m ²
	Koridor Kantor	III-1	0.85%	0.711 m ²	87.61%	72.921 m ²	11.54%	9.604 m ²

Performa alternatif 1 bukaan – bukaan pada 22 Desember cukup baik, kecuali pada koridor yang hanya 11,5% memenuhi batas kenyamanan visual. Selain itu, juga terdapat permasalahan pada sisi selatan ruangan, baik dari lobby utama maupun di lobby tower, yaitu masuknya glare berlebih pada saat matahari berada di sisi selatan.

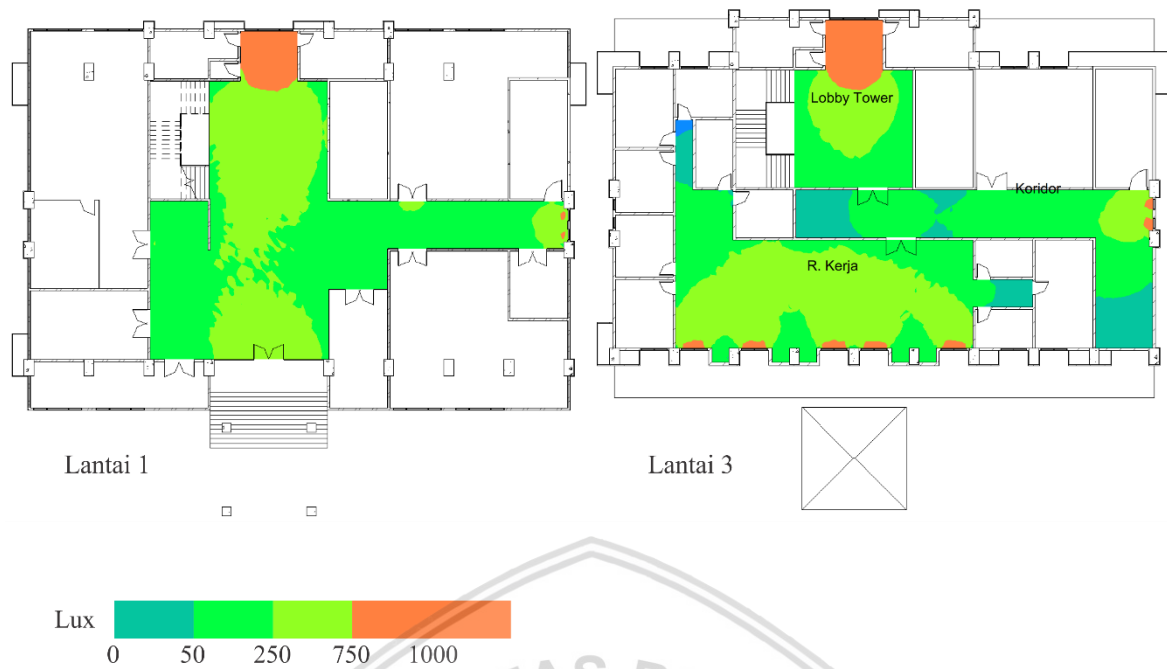


Gambar 4. 34 Kontur cahaya alternatif 2 pada 22 Desember

Tabel 4. 24 Persentase kenyamanan alternatif 2 pada 22 Desember

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-2, III-2	6.32%	13.435 m ²	44.77%	95.184 m ²	48.91%	103.983 m ²
	Ruang Kerja	I-2	3.56%	5.044 m ²	34.35%	48.636 m ²	62.09%	87.906 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-2	23.79%	14.411 m ²	34.59%	20.952 m ²	41.63%	25.218 m ²
	Koridor Kantor	III-2	0.75%	0.622 m ²	90.06%	74.966 m ²	9.19%	7.648 m ²

Dengan berkurangnya ukuran bukaan itu sendiri, performa visual ruang pada keseluruhan ruang semakin berkurang, meski tidak turun secara signifikan (dengan rata – rata penurunan 3%).



Gambar 4. 35 Kontur cahaya alternatif 3 pada 22 Desember

Tabel 4. 25 Persentase kenyamanan alternatif 3 pada 22 Desember

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-3, III-3	5.52%	11.732 m ²	53.32%	113.350 m ²	41.17%	87.520 m ²
	Ruang Kerja	I-3	2.74%	3.873 m ²	44.27%	62.687 m ²	52.99%	75.026 m ²
Lantai 3	Lobby Tower	II-3	21.91%	13.273 m ²	45.07%	27.304 m ²	33.02%	20.004 m ²
	Koridor Kantor	III-3	0.75%	0.622 m ²	90.60%	75.411 m ²	8.65%	7.203 m ²

Berbeda dengan alternatif 2, penurunan performa visual pada ruangan – ruangan yang diteliti berkurang cukup besar, dengan perubahan terbesar ada di ruang kerja, yaitu berkurang sebanyak 9%.

Tabel 4. 26 Perbandingan 3 alternatif pada tanggal 22 Desember

Lantai	Ruang	Bukaan - Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
Lantai 1	Lobby Utama	II-1, III-1	6.81%	14.476 m ²	42.32%	89.980 m ²	50.87%	108.146 m ²
		II-2, III-2	6.32%	13.435 m ²	44.77%	95.184 m ²	48.91%	103.983 m ²
		II-2, III-3	5.52%	11.732 m ²	53.32%	113.350 m ²	41.17%	87.520 m ²
Lantai 3	Ruang Kerja	I-1	3.18%	4.503 m ²	28.69%	40.620 m ²	68.13%	96.462 m ²
		I-2	3.56%	5.044 m ²	34.35%	48.636 m ²	62.09%	87.906 m ²
		I-3	2.74%	3.873 m ²	44.27%	62.687 m ²	52.99%	75.026 m ²
	Lobby Tower	II-1	24.41%	14.790 m ²	30.52%	18.487 m ²	45.07%	27.304 m ²
		II-2	23.79%	14.411 m ²	34.59%	20.952 m ²	41.63%	25.218 m ²
		II-3	21.91%	13.273 m ²	45.07%	27.304 m ²	33.02%	20.004 m ²
	Koridor Kantor	III-1	0.85%	0.711 m ²	87.61%	72.921 m ²	11.54%	9.604 m ²
		III-2	0.75%	0.622 m ²	90.06%	74.966 m ²	9.19%	7.648 m ²
		III-3	0.75%	0.622 m ²	90.60%	75.411 m ²	8.65%	7.203 m ²

Pada bulan Desember, tepatnya di tanggal 22, matahari berada di sisi paling selatan bumi selama setahun. Hal tersebut berdampak langsung pada bukaan bukaan yang berada di sisi selatan bangunan, seperti pada bukaan II di lobby tower, yang memiliki persentase diatas batas kenyamanan visual lebih tinggi dibandingkan dengan bukaan – bukaan yang berada di sisi lain.

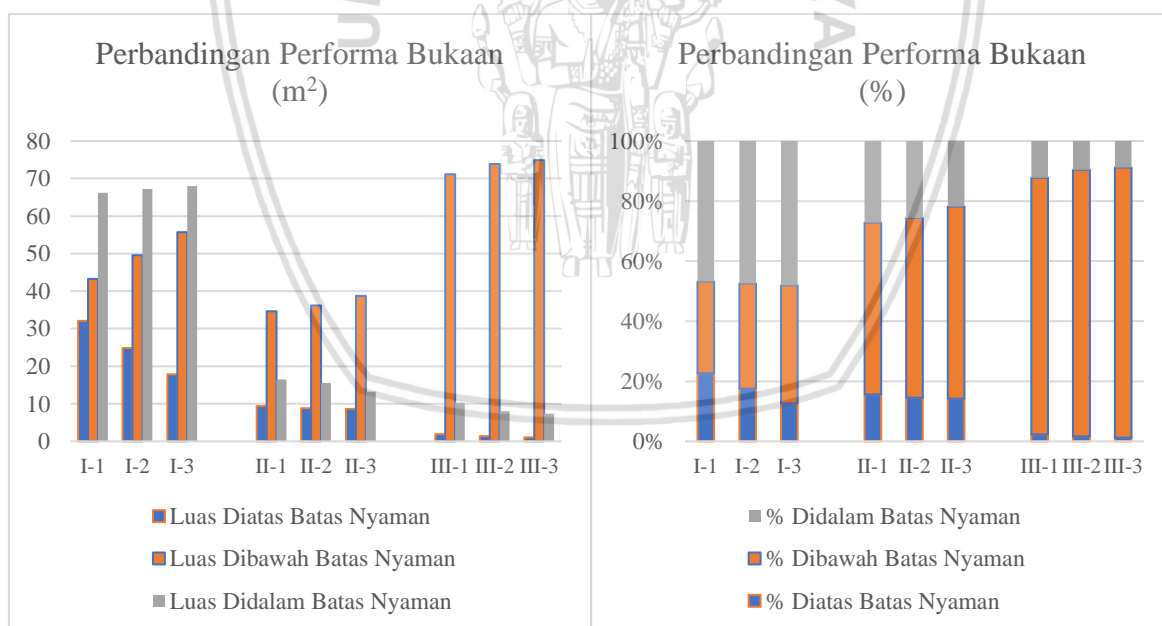
5. Kesimpulan

Dari 24 alternatif yang disimulasikan selama tahap ini, hasil dari simulasi tersebut dibandingkan dengan 1 sama lain agar mengetahui dampak dari perbedaan ukuran bukaan terhadap tingkat pencahayaan alami pada ruang dalam yang diteliti. Dengan tingkat pencahayaan alami yang ideal, maka penggunaan lampu akan dapat dikurangi, yang langsung berpengaruh pada penghematan energi secara keseluruhan pada bangunan tersebut. Rata – rata luasan ruang yang berada didalam batas kenyamanan yang paling tinggi menjadi pertimbangan dalam pemilihan alternatif ukuran. Perlu diperhatikan bahwa data yang dipakai

pada perbandingan ini hanya mengambil dari ruangan di lantai 3, karena dari tiap – tiap ruangan tersebut hanya memiliki 1 jenis bukaan, sehingga lebih mudah menilai performa dari bukaan – bukaan tersebut. Berikut adalah tabel beserta grafik hasil dari simulasi modifikasi bukaan:

Tabel 4. 27 Perbandingan rata – rata performa alternatif bukaan

Bukaan	Alternatif	% Diatas Batas Nyaman	Luas Diatas Batas Nyaman	% Dibawah Batas Nyaman	Luas Dibawah Batas Nyaman	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman
I	1	22.68%	32.109 m ²	30.57%	43.277 m ²	46.76%	66.200 m ²
	2	17.54%	24.836 m ²	35.00%	49.560 m ²	47.46%	67.190 m ²
	3	12.61%	17.856 m ²	39.36%	55.729 m ²	48.03%	68.001 m ²
II	1	15.57%	9.433 m ²	57.24%	34.675 m ²	27.19%	16.473 m ²
	2	14.55%	8.817 m ²	59.74%	36.192 m ²	25.70%	15.572 m ²
	3	14.20%	8.604 m ²	64.01%	38.776 m ²	21.79%	13.202 m ²
III	1	2.30%	1.912 m ²	85.42%	71.098 m ²	12.29%	10.227 m ²
	2	1.68%	1.401 m ²	88.70%	73.832 m ²	9.62%	8.003 m ²
	3	1.26%	1.045 m ²	89.93%	74.855 m ²	8.81%	7.337 m ²



Gambar 4. 36 Grafik perbandingan performa alternatif bukaan

Perbandingan hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa pada Bukaan 1, alternatif ketiga (tinggi 1,55 m) memiliki pencahayaan paling optimal dibandingkan alternatif bukaan yang lain (68m² berada didalam batas kenyamanan) dan dapat mengurangi silau sebanyak 10% tanpa mengurangi luasan yang berada didalam batas kenyamanan.

Sedangkan pada Bukaannya II dan III, semua performa masih bisa dianggap kurang, dengan rata – rata dari semua alternatif, tingkat pencahayaan masih terlalu gelap (Bukaan II $\pm 60\%$, dan Bukaan III $\pm 90\%$). Hal tersebut bisa terjadi dikarenakan dari bentukan dari masing – masing ruang itu sendiri yang tidak mendukung digunakannya pencahayaan alami. Pada lobby tower, sisi dimana bukaan II dipasang, lebih sempit jika dibandingkan dengan sisi lain lobby, yang terhalang oleh adanya kamar mandi. Untuk koridor, perbandingan kedalaman ruang dan tinggi jendela terlalu besar, sehingga sulit untuk sepenuhnya bergantung pada pencahayaan alami. Namun, meski seluruh performa alternatif bukaan II & III belum bisa dikatakan ideal, alternatif II-1 & III-1 lebih unggul dibandingkan dengan alternatif lainnya.

Sehingga secara keseluruhan, alternatif bukaan yang dipilih dari masing – masing bukaan adalah:

Tabel 4. 28 Alternatif bukaan terpilih

Alternatif	% Didalam Batas Nyaman	Luas Didalam Batas Nyaman	Tinggi Bukaan	Lebar Bukaan	Posisi Bukaan
I-3	48.03%	68.001 m ²	1,55 m	1,6 m	1,025 m
II-1	27.19%	16.473 m ²	2,8 m	2,9 m	0,05 m
III-1	12.29%	10.227 m ²	2,1 m	0,65 m	0,8 m

Ketiga alternatif tersebut dijadikan dasar ukuran bukaan pada simulasi modifikasi pembayang di tahap selanjutnya.

4.6.4 Modifikasi Pembayang

Pada simulasi tahap ini, jenis simulasi yang digunakan adalah *Whole Building Energy Simulation* yang dilakukan menggunakan Autodesk Insight. Sesuai namanya, simulasi jenis ini menghitung energi pada bangunan secara keseluruhan, dan menggunakan ukuran bukaan terpilih yang sudah disimulasi pada tahap sebelumnya. Modifikasi pembayang yang dilakukan tidak hanya spesifik terhadap masing – masing jenis bukaan, namun modifikasi dibedakan berdasarkan orientasi dari bukaan – bukaan itu sendiri. Sedangkan untuk jenis pembayang yang dipilih adalah *horizontal overhang*, dengan panjang yang sesuai target OHR yang ditentukan.

Terdapat beberapa spesifikasi bukaan beserta batasan – batasan yang diterapkan kedalam bangunan, dimana dengan adanya batasan – batasan tersebut, efek dari perubahan pembayang dapat terlihat, tanpa adanya gangguan dari faktor – faktor lain. Spesifikasi dan batasan – batasan yang digunakan pada bangunan simulasi ini antara lain:

Tabel 4. 29 Spesifikasi model simulasi energi

Spesifikasi	
Bukaan I	Dimensi: 160 x 155 cm Material: Kaca 0,5mm, Single
Bukaan II	Dimensi: 290 x 285 cm Material: Kaca 0,5mm, Single
Bukaan III	Dimensi: 65 x 210 cm Material: Kaca 0,5mm, Single
Jenis Bangunan	Bangunan Perkantoran
Sistem HVAC	12 SEER / 0.9 AFUE Split/Pakcaged Gas
Jam Operasi Kantor	12 Jam, 5 Hari
Dinding	Sesuai eksisting
Atap	Sesuai eksisting
PV	-

Sedangkan untuk skenario – skenario modifikasi yang dilakukan pada tahap simulasi energi ini antara lain:

Tabel 4. 30 Skenario perubahan pembayang

Alternatif	OHR			
	Utara	Selatan	Timur	Barat
1	0,167	0,167	0,167	0,167
2	0,25	0,25	0,25	0,25
3	0,334	0,334	0,334	0,334
4	0,5	0,5	0,5	0,5
5	0,67	0,67	0,67	0,67

Dari skenario – skenario alternatif perubahan pembayang diatas, target OHR yang sudah ditentukan diaplikasikan kedalam 3 macam bukaan yang terdapat didalam bangunan. Berikut daftar ukuran – ukuran panjang pembayang, setelah disesuaikan dengan bukaan dan OHR terkait:

Tabel 4. 31 Panjang pembayang tiap – tiap jenis bukaan di semua (dalam cm)

Jenis Bukaan	Alternatif				
	1	2	3	4	5
I	25.885	38.75	51.77	77.5	103.85
II	47.595	71.25	95.19	142.5	190.95
III	35.07	52.5	70.14	105	140.7

Setelah kelima alternatif pembayang tersebut disimulasikan, data yang keluar dari *software* Autodesk Insight adalah data IKE (Intensitas Konsumsi Energi) bangunan. Berikut tabel pengaruh OHR di masing – masing orientasi bukaan terhadap IKE, jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, beserta IKE tiap – tiap alternatif:

Tabel 4. 32 Hasil simulasi energi pada modifikasi pembayang

Alternatif	Perubahan IKE					IKE TOTAL
	Utara	Selatan	Timur	Barat	Total	
1	-1.92	-0.38	-0.05	-0.23	-2.58	146.98
2	-2.34	-0.53	-0.07	-0.33	-3.27	146.29
3	-2.71	-0.66	-0.09	-0.08	-3.54	146.02
4	-3.28	-0.85	-0.13	-0.57	-4.83	144.73
5	-3.63	-0.94	-0.17	-0.69	-5.43	144.13

Dari 5 alternatif pembayang disimulasikan menggunakan simulasi energi Autodesk Insight, desain pembayang pada alternatif 5 merupakan alternatif yang dapat menghemat konsumsi energi bangunan paling baik dibandingkan dengan 4 alternatif pembayang lainnya. Selain itu, pengaruh pembayang pada masing – masing orientasi bukaan juga dapat terlihat dengan jelas. Bukaan yang memiliki arah hadap utara, memiliki dampak terbesar terhadap penghematan energi pada saat ditambahkan pembayang lebih.

Tabel 4. 33 Alternatif pembayang terpilih

Alternatif	Ukuran Pembayang			IKE TOTAL
	I	II	III	
5	103.85	190.95	140.7	- 5,43 144.13

4.6.5 Modifikasi Material

Pada tahap ini, material yang dianalisa dan dimodifikasi adalah material kaca dari bukaan bangunan. Proses penentuan material bukaan ini adalah dengan membandingkan potensi penghematan energi dengan potensi ekonomi dari masing – masing material. Material kaca yang digunakan sebagai alternatif modifikasi disini antara lain adalah:

1. Kaca bening (4mm)
2. Kaca bening lapis ganda (4mm/lapis)
3. Kaca rendah emisi lapis ganda (4mm/lapis)
4. Kaca rendah emisi 3 lapis (4mm/lapis)

Ke-empat jenis kaca tersebut diaplikasikan kedalam model Gedung Layanan Bersama yang telah dimodifikasi sebelumnya, kemudian Autodesk Insight digunakan untuk melihat efek dari masing – masing material terhadap intensitas penggunaan energi didalam bangunan. Hasil yang didapat dari hasil simulasi tersebut adalah:

Tabel 4. 34 Pengaruh jenis material terhadap IKE (kWh/m2/tahun)

	Jenis Material			
	Single Clear	Double Clear	Double LoE	Triple LoE
Selatan	-0.5	-0.8	-0.66	-1.52
Utara	-3.63	-3.84	-3.68	-4.36
Barat	-0.44	-0.59	-0.53	-0.99
Timur	-0.08	-0.1	-0.07	-0.2
Total	-4.65	-5.33	-4.94	-7.07
IKE	144.13	143.45	143.84	141.71

Jika dilihat dari potensi penghematan energinya, menggunakan kaca dengan material kaca rendah emisi 3 lapis merupakan pilihan yang tepat. Namun, untuk mempertimbangkan potensi ekonomi dari tiap – tiap material, perlu dilakukan perhitungan penghematan perbulan pada tiap – tiap material kaca, yang dapat dihitung melalui proses sebagai berikut:

1. Perhitungan Biaya Renovasi

Hal – hal yang dihitung pada proses perhitungan biaya renovasi ini dibatasi hanya biaya material bukaan dan pembayang yang direkomendasikan. Material tersebut antara lain:

a. Frame Alumunium

Panjang Frame = jumlah x keliling bukaan

Panjang Frame I = $72 \times 2 \times (1,55 + 1,6) = 453,6 \text{ m}$

Panjang Frame II = $24 \times 2 \times (2,8 + 2,9) = 273,6 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Frame III} &= 28 \times 2 \times (1,9 + 0,65) = 142,8 \text{ m} \\
 \text{Panjang Total} &= 870 \text{ m} \\
 \text{Harga frame/m} &= \text{Rp. } 70.000,00 \\
 \text{Harga Total} &= 870 \times 70.000 = \text{Rp. } 60.900.000,00
 \end{aligned}$$

b. Beton

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Beton} &= \text{jumlah} \times \text{luas pembayang} \\
 \text{Luas Beton I} &= 72 \times 1,04 \times 1,60 = 120 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Beton II} &= 24 \times 1,9 \times 2,9 = 133 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Beton III} &= 28 \times 1,41 \times 0,65 = 26 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Total} &= 279 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume Total} &= 279 \times 0,05 = 13,95 \text{ m}^3 \\
 \text{Harga K.225/m}^3 &= \text{Rp. } 830.000,00 \\
 \text{Harga Total} &= 14 \times 830.000 = \text{Rp. } 11.620.000,00
 \end{aligned}$$

c. Tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Beton I} &= 1,04 \times 1,60 \times 72 = 120 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Beton II} &= 1,9 \times 2,9 \times 24 = 133 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Beton III} &= 1,41 \times 0,65 \times 28 = 26 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Total} &= 279 \text{ m}^2 \\
 \text{Tulangan @ 15cm} &= 12\text{m} = 1 \text{ batang/m}^2 \\
 \text{Harga tulangan 10mm / batang} &= \text{Rp. } 69.550,00 \\
 \text{Harga Total} &= 279 \times 69.550 = \text{Rp. } 19.404.450,00
 \end{aligned}$$

d. Kaca

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Bukaan I} &= 72 \times 1,55 \times 1,6 = 178,56 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Bukaan II} &= 24 \times 2,8 \times 2,9 = 194,88 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Bukaan III} &= 28 \times 1,9 \times 0,65 = 34,58 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Total} &= 408,02 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 35 Tabel harga material kaca

Jenis Material	Harga/m ²	Harga total
Kaca Bening	Rp 85,000.00	Rp 34,850,000.00
Kaca Bening Lapis Ganda	Rp 170,000.00	Rp 69,700,000.00
Kaca Rendah Emisi Lapis Ganda	Rp 736,000.00	Rp 301,760,000.00
Kaca Rendah Emisi 3 Lapis	Rp 1,104,000.00	Rp 452,640,000.00

e. Biaya Material Total

Tabel 4. 36 Tabel biaya material total

Jenis Material	Harga total	Biaya Material Total
Kaca Bening	Rp 34,850,000.00	Rp 126,774,450.00
Kaca Bening Lapis Ganda	Rp 69,700,000.00	Rp 161,624,450.00
Kaca Rendah Emisi Lapis Ganda	Rp 301,760,000.00	Rp 393,684,450.00
Kaca Rendah Emisi 3 Lapis	Rp 452,640,000.00	Rp 544,564,450.00

2. Perhitungan Penghematan Listrik

IKE Eksisting: 147.42 kWh / m² / tahun

Harga listrik bangunan sosial /kWh = Rp. 900,00 /kWh

Luas Bangunan = 6813 m²

Penghematan per bulan = Selisih IKE x Luas Bangunan x Harga Listrik / 12

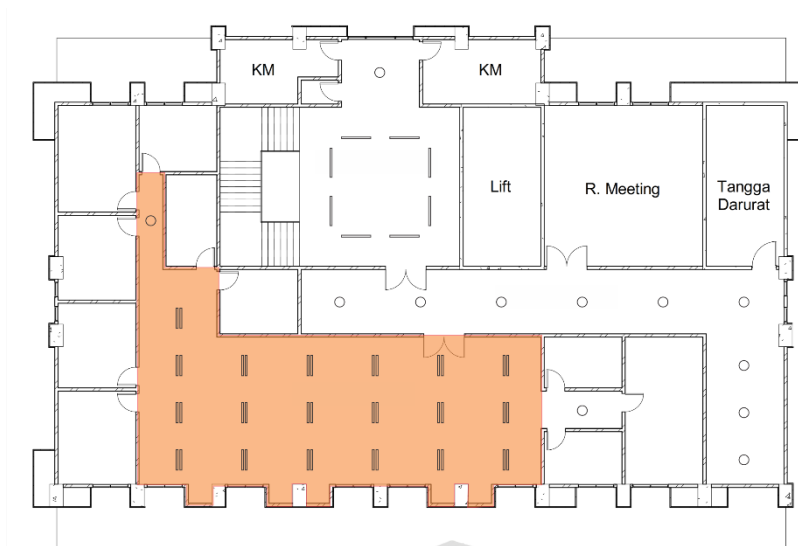
Tabel 4. 37 Perbandingan penghematan per-bulan

Jenis Kaca	IKE	Selisih	Penghematan /bulan	Waktu Balik Modal
Kaca Bening	144.13	3.29	Rp 1,681,107.75	6 tahun 4 bulan
Kaca Bening Lapis Ganda	143.45	3.97	Rp 2,028,570.75	6 tahun 8 bulan
Kaca Rendah Emisi Lapis Ganda	143.84	3.58	Rp 1,829,290.50	17 tahun 1 bulan
Kaca Rendah Emisi 3 Lapis	141.71	5.71	Rp 2,917,667.25	15 tahun 7 bulan

Menurut perbandingan diatas, jenis material kaca dari bukaan yang memiliki potensi ekonomi dan penghematan paling optimal adalah Kaca Bening Lapis Ganda (4mm/lapis).

4.7 Modifikasi Tata Lampu

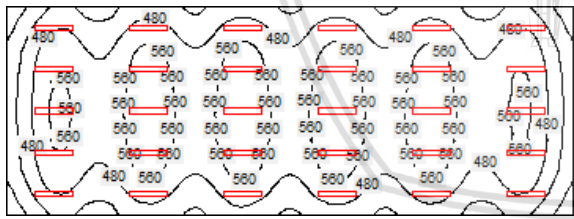
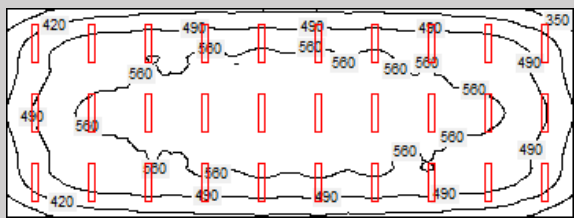
Selain dengan melakukan modifikasi – modifikasi elemen bangunan seperti pada sebelumnya, yaitu bukaan dan pembayang, penghematan penggunaan listrik juga dapat dilakukan dengan mengoptimasi tata lampu dari ruang – ruang di bangunan itu sendiri. Dengan adanya modifikasi tata lampu ini, diharapkan lampu – lampu yang ada di ruangan tidak berlebihan namun tetap nyaman secara visual. Pada tahap ini, jenis ruang yang dimodifikasi tata lampunya adalah ruangan berjenis *open-plan office*, yang sudah diteliti sebelumnya.



Gambar 4. 37 Tata lampu eksisting beserta ruang yang dimodifikasi

Tata lampu di ruang tersebut dimasukkan dan dianalisis menggunakan DIALux Light, untuk menentukan tata lampu optimal didalam ruangan tersebut. Rata – rata intensitas cahaya yang digunakan didalam analisis ini adalah 500 lux. Jenis lampu yang digunakan adalah lampu eksisting yang ada di ruangan, yaitu lampu Philips TL 36W. Berikut alternatif tata lampu pada ruangan, yaitu:

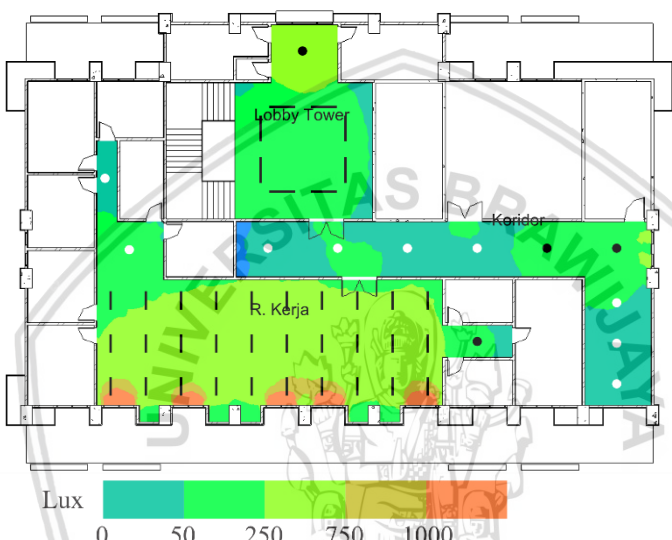
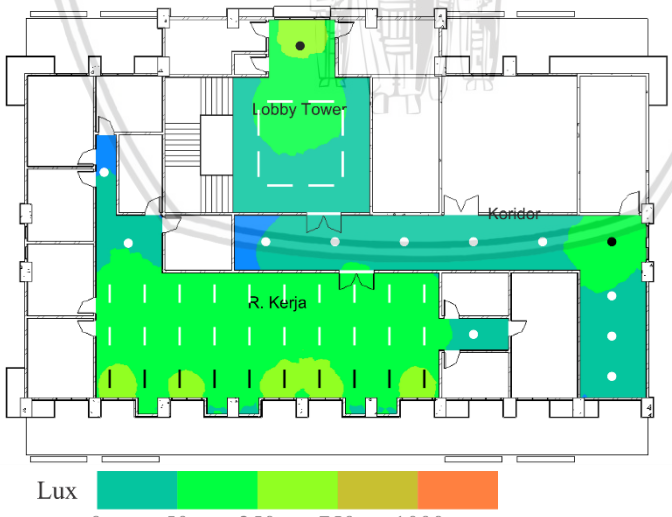
Tabel 4. 38 Alternatif tata lampu

Alternatif Tata Lampu	Spesifikasi & Performa
 <p style="text-align: center;">I</p>	<p>Jumlah lampu: 30 (6 x 5)</p> <p>Lux maks.: 627 lux</p> <p>Lux rata – rata: 503 lux</p> <p>Lux min.: 270 lux</p>
 <p style="text-align: center;">II</p>	<p>Jumlah lampu: 30 (10 x 3)</p> <p>Lux maks.: 609 lux</p> <p>Lux rata – rata: 514 lux</p> <p>Lux min.: 288 lux</p>

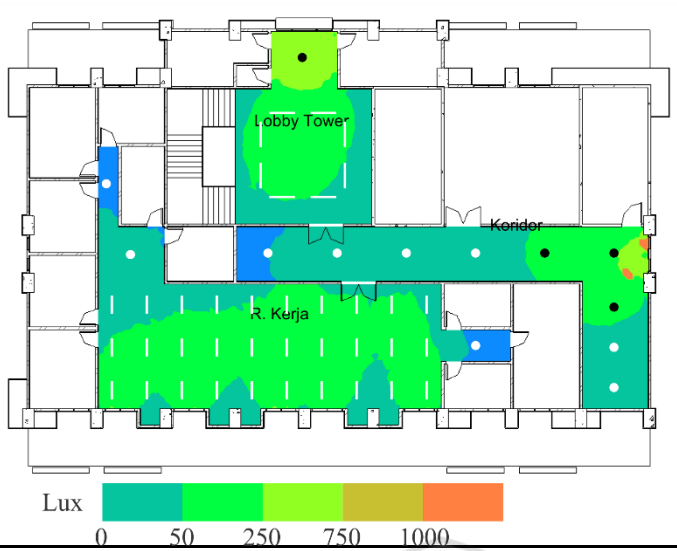
Jika dibandingkan dengan kedua tata lampu alternatif yang disarankan, kondisi eksisting cenderung lebih membuang – buang energi dengan 36 lampu. Dari kedua alternatif tersebut, dipilihlah alternatif kedua, dengan beberapa pertimbangan seperti lux rata – rata

yang lebih tinggi, lux minimumnya lebih tinggi (penyebaran lebih merata), kemudian kontur cahaya yang dihasilkan dari alternatif kedua lebih halus dan tidak fluktuatif. Untuk menghitung penghematan *open-plan office* per meter persegi, diperlukan penentuan skenario tata lampu di ruangan yang diteliti, menggunakan tata lampu yang direkomendasikan, yang dapat dijelaskan melalui tabel dibawah:

Tabel 4. 39 Perhitungan penghematan dari *open-plan office* per meter persegi

Waktu	Peta Lampu	Penghematan (kWh)
Maret-Pagi		6.48
Maret-Siang		2.88

Maret-Sore

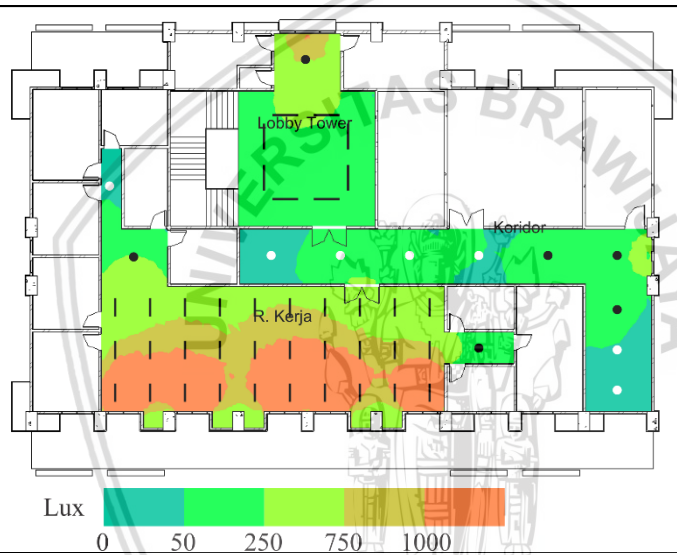


1.08

Penghematan Q1

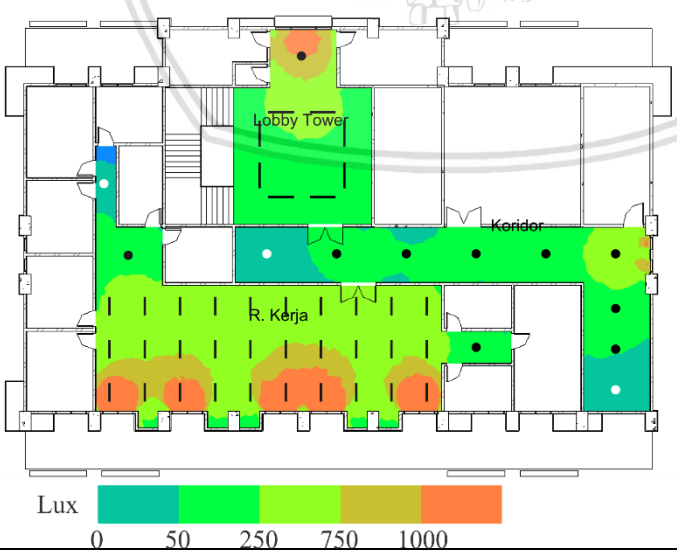
10.44

Juni-Pagi

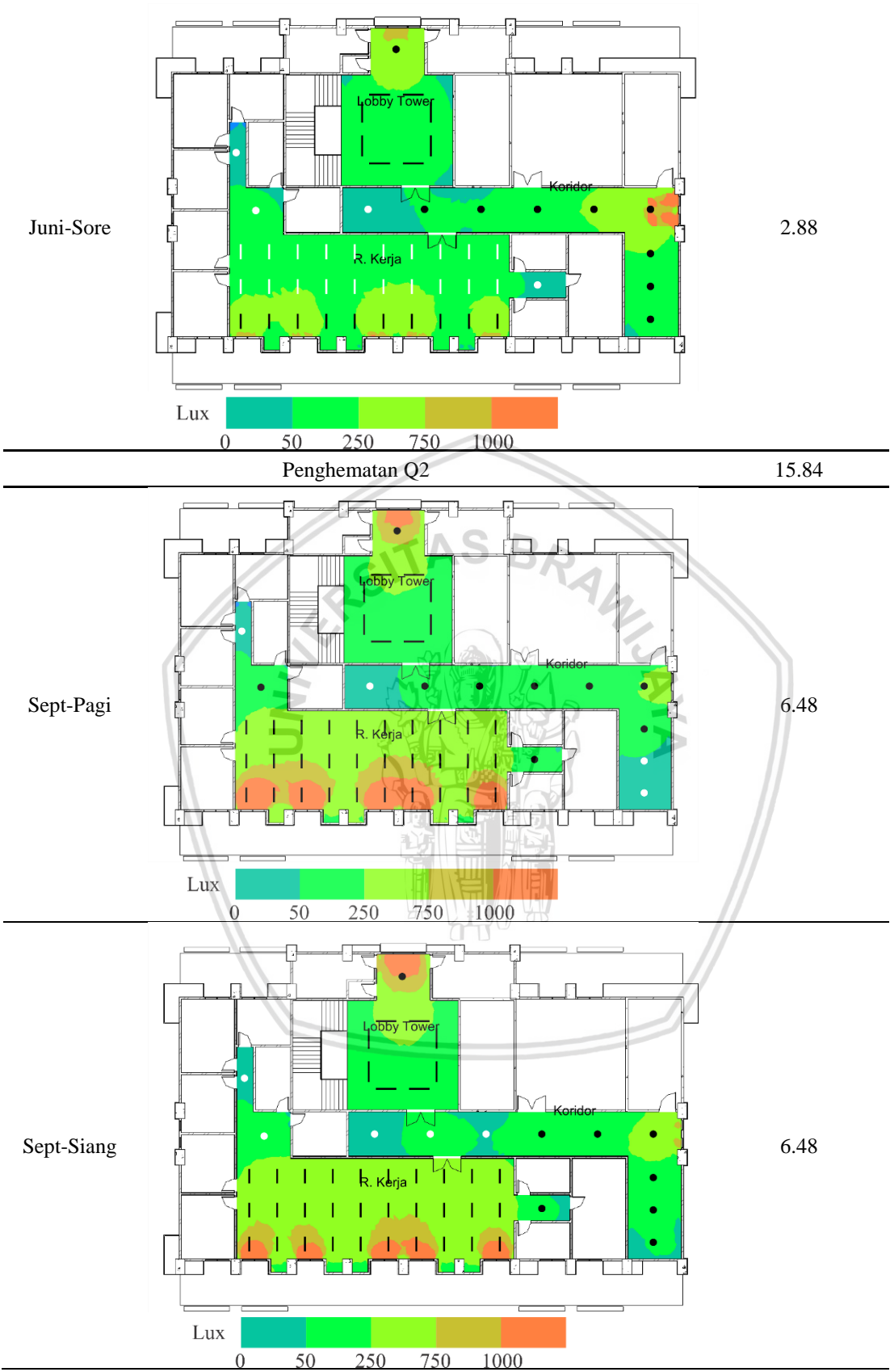


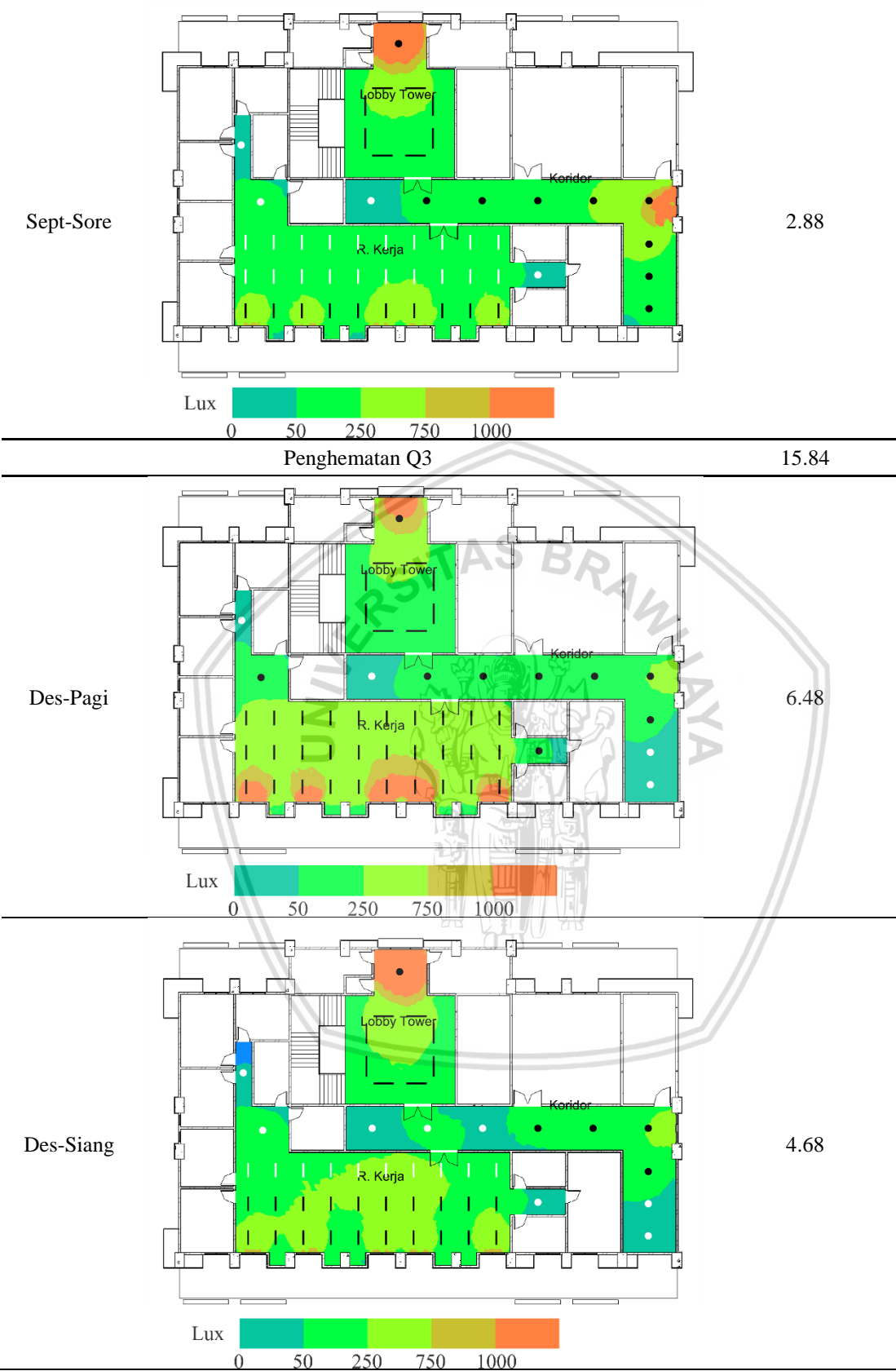
6.48

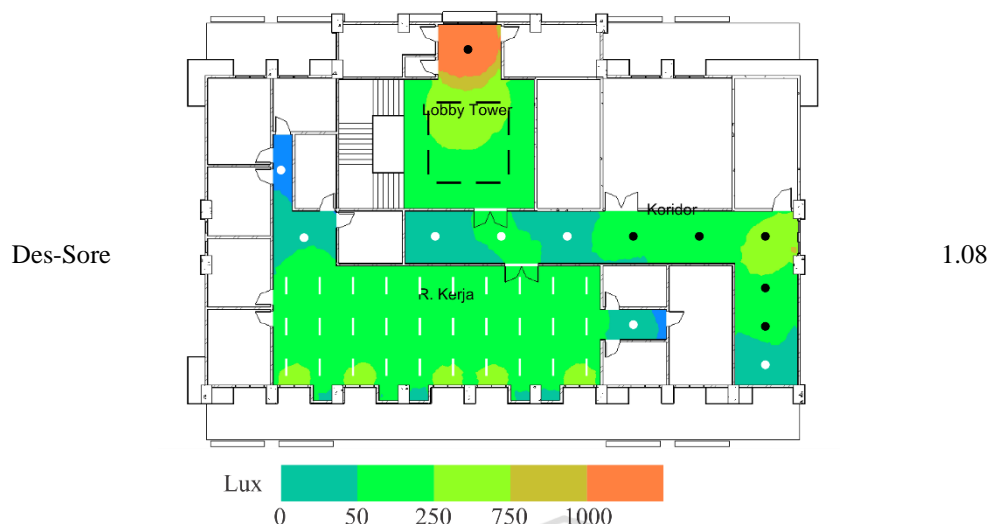
Juni-Siang



6.48







Penghematan Q4	12.24
Penghematan /Tahun (kWh)	54.36
Penghematan /Bulan (kWh)	4.53
Penghematan /m2 /Bulan (kWh)	0.0489

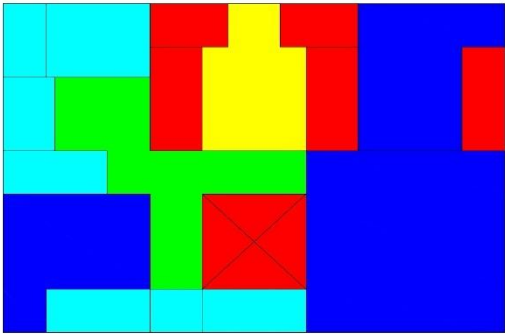
Hasil dari perhitungan diatas, yaitu penghematan per meter persegi per bulan, digunakan untuk menghitung hasil penghematan total di *open-plan office* dan ruang – ruang terbuka sejenis yang ada di seluruh gedung. Perhitungan tersebut dijabarkan pada tabel dibawah:

Tabel 4. 40 Perhitungan penghematan seluruh gedung

Lantai	Tata Ruang	Luas (m2)	Penghematan (kWh)
1		288.00	14.0832

100

2



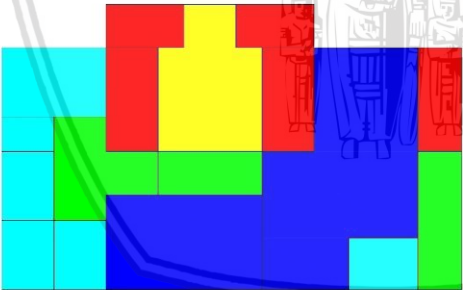
332.54 16.261206

3



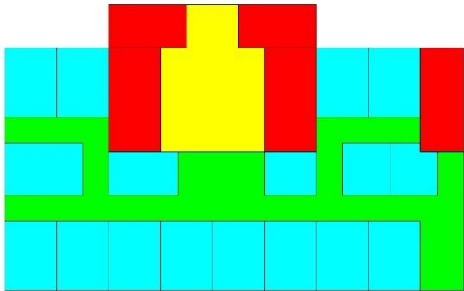
193.42 9.458238

4



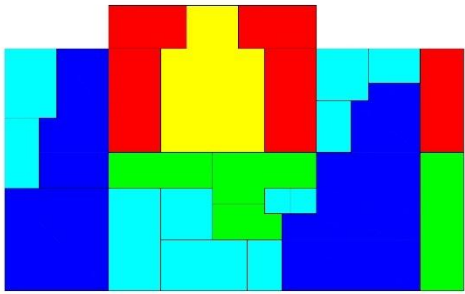
209.52 10.245528

5



0 0

6



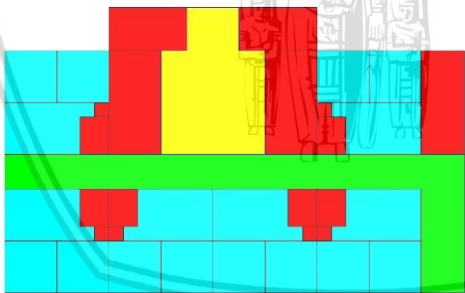
195.48 9.558972

7



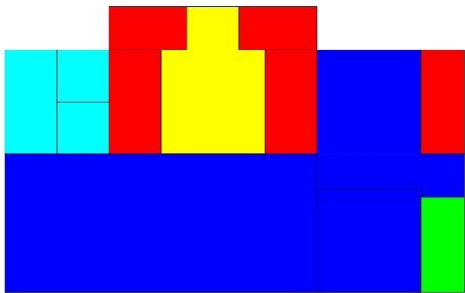
244.80 11.97072

8



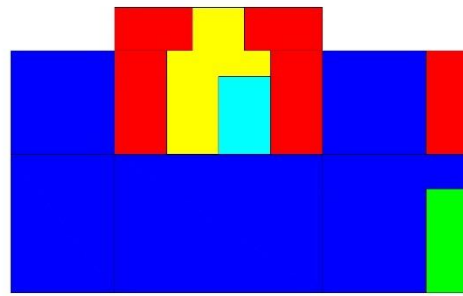
0 0

9



337.32 16.494948

10



387.36

18.941904

Total

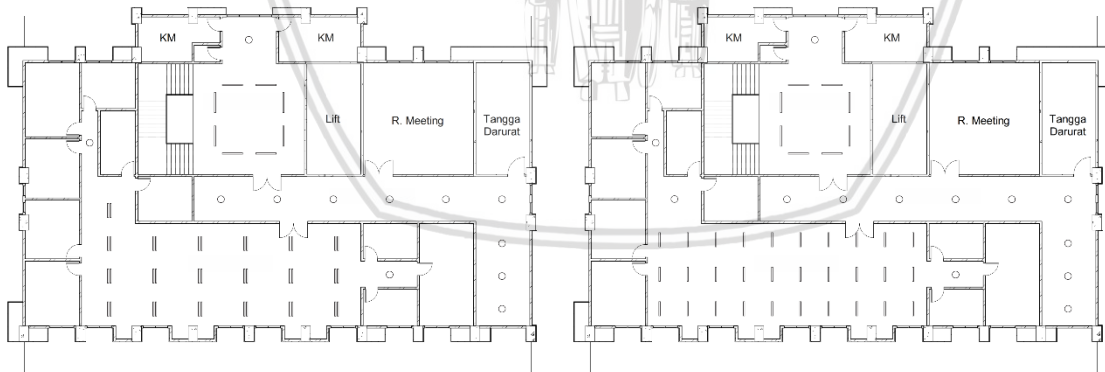
2188.44

107.014716

Keterangan:

- Lobby
- Ruang servis
- Koridor
- Ruang kantor
- Ruang kerja terbuka & sejenis

Dengan merubah tata lampu dari ruangan *open-plan office* dan ruangan yang memiliki tata lampu sejenis, maka penghematan per bulan yang dapat dicapai adalah berkisar 107 kWh / bulan. Berikut perbandingan antara tata lampu eksisting dan rekomendasi:



Gambar 4. 38 Perbandingan tata lampu eksisting dengan rekomendasi desain

Selain berkurangnya lampu total pada ruangan, penggunaan lampu TL *single fixture* pada alternatif dengan jumlah yang lebih banyak dianggap lebih hemat jika dibandingkan dengan penggunaan lampu TL *double fixture* seperti pada kondisi eksisting.



Gambar 4. 39 Double fixture (kiri) dan single fixture (kanan)
Sumber: Dokumen pribadi dan alibaba.com

4.8 Proses Perhitungan Biaya

1. Perhitungan Biaya Renovasi

Biaya renovasi perlu dihitung untuk menentukan apakah perubahan yang direkomendasikan di bangunan ini masuk akal untuk benar – benar dikerjakan, dan memiliki efek yang sepadan dengan biaya yang dikeluarkan. Hal – hal yang dihitung pada proses perhitungan biaya renovasi ini dibatasi hanya biaya material bukaan dan pembayang yang direkomendasikan. Material tersebut antara lain:

a. Kaca

Luas Bukaan = jumlah x luas bukaan

Luas Bukaan I = $72 \times 1,55 \times 1,6 = 178,56 \text{ m}^2$

Luas Bukaan II = $24 \times 2,8 \times 2,9 = 194,88 \text{ m}^2$

Luas Bukaan III = $28 \times 1,9 \times 0,65 = 34,58 \text{ m}^2$

Luas Total = $408,02 \text{ m}^2$

Harga kaca/m² = Rp. 170.000,00

Harga Total = $408,02 \times 170.000 = \text{Rp. } 69.700.000,00$

b. Frame Alumunium

Panjang Frame = jumlah x keliling bukaan

Panjang Frame I = $72 \times 2 \times (1,55 + 1,6) = 453,6 \text{ m}$

Panjang Frame II = $24 \times 2 \times (2,8 + 2,9) = 273,6 \text{ m}$

Panjang Frame III = $28 \times 2 \times (1,9 + 0,65) = 142,8 \text{ m}$

Panjang Total = 870 m

Harga frame/m = Rp. 70.000,00

Harga Total = $870 \times 70.000 = \text{Rp. } 60.900.000,00$

c. Beton

Luas Beton = jumlah x luas pembayang

Luas Beton I = $72 \times 1,04 \times 1,60 = 120 \text{ m}^2$

Luas Beton II = $24 \times 1,9 \times 2,9 = 133 \text{ m}^2$

Luas Beton III = $28 \times 1,41 \times 0,65 = 26 \text{ m}^2$

Luas Total = 279 m^2

Volume Total = $279 \times 0,05 = 13,95 \text{ m}^3$

Harga K.225/m³ = Rp. 830.000,00

Harga Total = $14 \times 830.000 = \text{Rp. } 11.620.000,00$

d. Tulangan

Luas Beton I = $72 \times 1,04 \times 1,60 = 120 \text{ m}^2$

Luas Beton II = $24 \times 1,9 \times 2,9 = 133 \text{ m}^2$

Luas Beton III = $28 \times 1,41 \times 0,65 = 26 \text{ m}^2$

Luas Total = 279 m^2

Tulangan @ 15cm = 12m = 1 batang/m²

Harga tulangan 10mm / batang = Rp. 69.550,00

Harga Total = $279 \times 69.550 = \text{Rp. } 19.404.450,00$

e. Biaya Material Total

biaya total = harga kaca + harga frame + harga beton + harga tulangan

$69.700.000 + 60.900.000 + 11.620.000 + 19.404.450 = \text{Rp. } 161.624.450,00$

2. Perhitungan Penghematan per Bulan

a. Penghematan Penggunaan Lampu

Harga listrik bangunan sosial /kWh = Rp. 900,00 /kWh

Penghematan lampu: 107 kWh

Penghematan / bulan = 107×900

= Rp. 96.300,00

b. Penghematan Listrik Total

IKE Eksisting: 147.42 kWh / m² / tahun

IKE Rekomendasi: 143.45 kWh / m² / tahun

Selisih IKE: $147.42 - 143.45 = 3.97 \text{ kWh / m}^2 \text{ / tahun}$

Harga listrik bangunan sosial /kWh = Rp. 900,00 /kWh

Penghematan / tahun = luas bangunan x 3,97 x 900

$$= 6813 \times 3,97 \times 900$$

$$= 27047,61 \times 900$$

$$= \text{Rp. } 24.342.489,00$$

Penghematan / bulan = 24.342.489 / 12

$$= \text{Rp. } 2.028.570,00$$

Total Penghematan / bulan = 96.300,00 + 2.028.570,00

$$= \text{Rp. } 2.124.863,51$$

3. Perhitungan Waktu Balik Modal

Biaya Material / Penghematan = 161.624.450 / 2.124.863,51

$$= 76 \text{ bulan}$$

$$= 6 \text{ tahun } 4 \text{ bulan}$$

Jika dilihat dari umur bangunan sendiri yang cukup baru (2 tahun), memang seharusnya terlalu dini untuk melakukan renovasi. Namun di sisi lain, dengan sisa umur konstruksi bangunan yang masih cukup panjang, efek penghematan dari perubahan desain juga akan semakin dirasakan pada jangka panjang.

4.9 Rekomendasi Desain

Setelah bangunan Gedung Layanan Bersama diteliti melalui proses analisis visual, pengukuran, simulasi dan juga perhitungan pengukuran biaya, terdapat beberapa perubahan terhadap kondisi bukaan dan pembayang yang dapat diaplikasikan kedalam bangunan. Dengan diterapkannya perubahan – perubahan tersebut, diharapkan Gedung Layanan Bersama dapat mengkonsumsi energi secara lebih hemat dan efisien. Perubahan desain yang direkomendasikan adalah:

1. Perubahan Bukaan

Secara garis besar, jenis bukaan yang terdapat pada keseluruhan gedung ini dapat dibagi menjadi 3. Berikut kondisi bukaan eksisting beserta perubahan yang digagas di penelitian ini, yaitu:

Tabel 4. 41 Rekomendasi perubahan bukaan

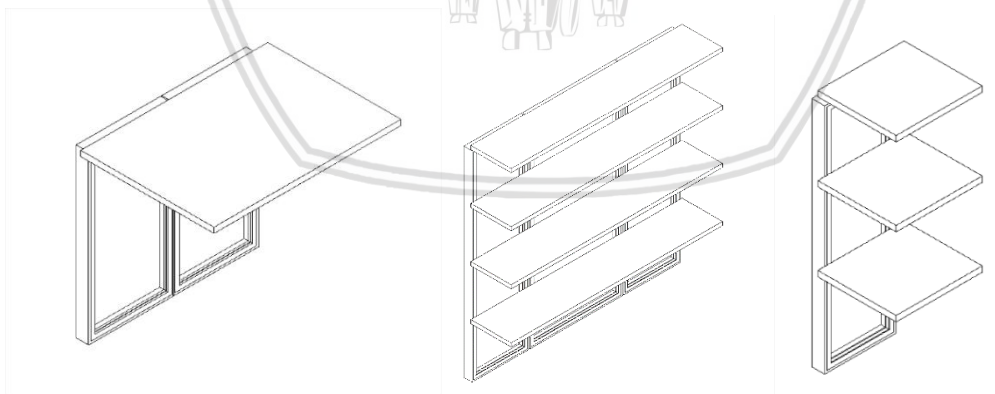
Jenis Bukaan	Kondisi Eksisting	Rekomendasi Desain
I	Tinggi Bukaan → 1,2m	Tinggi Bukaan → 1,55 m
	Lebar Bukaan → 1,6m	Lebar Bukaan → 1,6 m
	Posisi Bukaan → 1,2m	Posisi Bukaan → 1,025 m
II	Tinggi Bukaan → 1,15 m	Tinggi Bukaan → 2,8 m
	Lebar Bukaan → 2,9 m	Lebar Bukaan → 2,9 m
	Posisi Bukaan → 0,9 m	Posisi Bukaan → 0,05 m
III	Tinggi Bukaan → 1,9 m	Tinggi Bukaan → 2,1 m
	Lebar Bukaan → 0,65 m	Lebar Bukaan → 0,65 m
	Posisi Bukaan → 0,9 m	Posisi Bukaan → 0,8 m

2. Perubahan Pembayang

Seperti halnya bukaan, terdapat perubahan serta penambahan pembayang terhadap bukaan – bukaan pada bangunan ini. Berikut rekomendasi perubahan pembayang yang ada pada tiap – tiap jenis bukaan, yaitu:

Tabel 4. 42 Rekomendasi perubahan pembayang

Pembayang pada Bukaan	Kondisi Eksisting	Rekomendasi Desain
I	Panjang Pembayang → 0,6 m	Panjang Pembayang → 1,03 m
	Lebar Pembayang → 1,6m	Lebar Pembayang → 1,6m
II	Panjang Pembayang → 0,2 m	Panjang Pembayang → 1,91 m
	Lebar Pembayang → 2,9 m	Lebar Pembayang → 2,9 m
III		Panjang Pembayang → 1,4 m
		Lebar Pembayang → 0,65 m



Gambar 4. 40 Bukaan dan Pembayang hasil dari rekomendasi desain

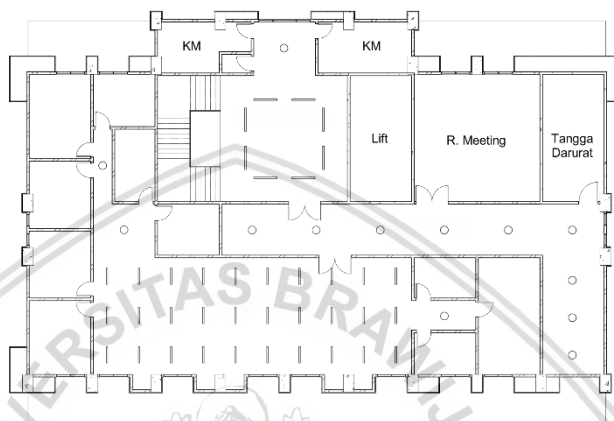
3. Perubahan Material

Pada tiap – tiap bukaan yang terdapat di bangunan ini, material yang digunakan adalah kaca bening biasa, namun setelah melakukan proses simulasi, menambahkan 1 lapis kaca bening tambahan merupakan alternatif material yang

masuk akal jika ingin menghemat penggunaan energi pada bangunan dengan biaya yang relatif murah.

4. Perubahan Tata Lampu

Tata lampu diubah dengan tujuan utama untuk mencari jumlah lampu optimal sehingga lampu pada ruangan yang diteliti tidak berlebih namun masih memenuhi standar dan kenyamanan.

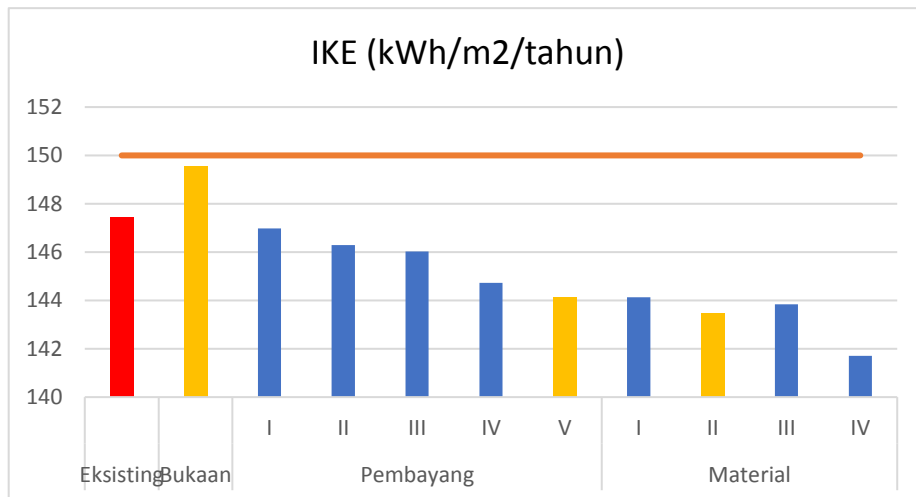


Gambar 4. 41 Tata lampu yang direkomendasikan

Rekomendasi – rekomendasi yang disarankan, baik ukuran bukaan, pembayang, maupun material dilakukan dengan tujuan untuk menurunkan tingkat konsumsi energi bangunan secara keseluruhan. Berikut hasil dari tahapan – tahapan simulasi dari kondisi eksisting hingga tahap akhir simulasi:

Tabel 4. 43 IKE dari kondisi eksisting hingga proses akhir simulasi

Langkah	Eksisting	Bukaan	Pembayang					Material			
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV
IKE (kWh/m2/tahun)	147.42	149.56	146.98	146.29	146.02	144.73	144.13	144.13	143.45	143.84	141.71

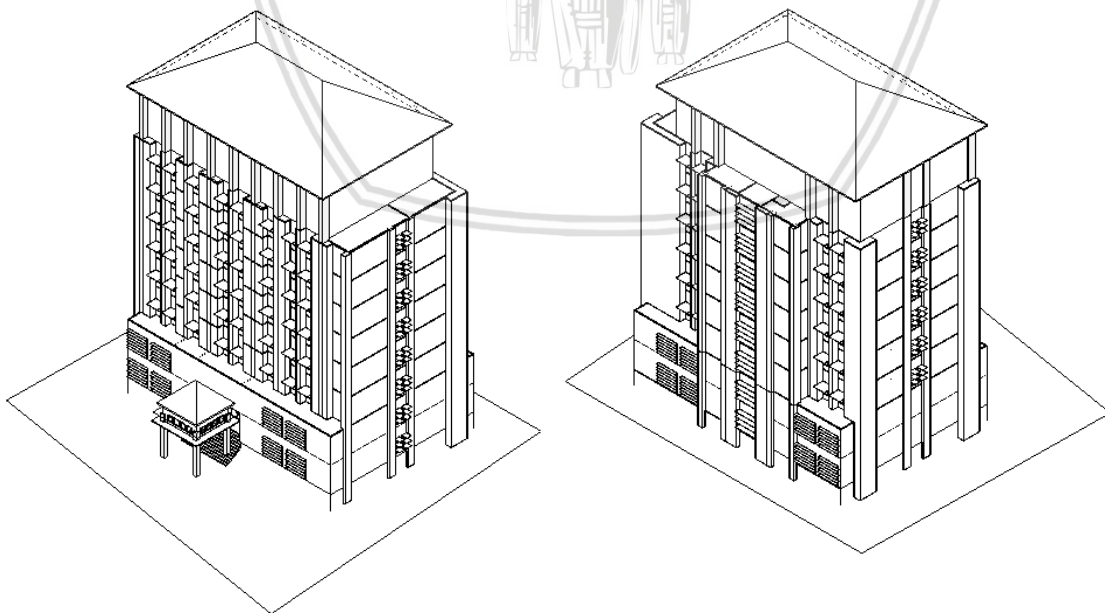


Gambar 4. 42 IKE dari kondisi eksisting hingga proses akhir simulasi

Keterangan:

— Standar ASHRAE 90.1

Apabila rekomendasi desain ini diterapkan, dan dengan mempertimbangkan skenario lampu pada bangunan, bangunan diharapkan bisa lebih hemat dalam penggunaan energinya, dengan penghematan tiap bulan mencapai angka sekitar Rp 2.124.863,51. Dan modal dari renovasi rekomendasi desain ini bisa dibalik modalikan dalam kurun waktu 6 tahun 4 bulan, dengan nilai IKE sebesar 143.45 kWh/m2/tahun. Nilai tersebut sudah memenuhi standar ASHRAE 90.1 (149 kWh/m2/tahun) dan standar IKE di Indonesia (240 kWh/m2/tahun).



Gambar 4. 43 Tampak bangunan hasil rekomendasi desain

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Gedung Layanan Bersama adalah salah satu gedung perkantoran berlantai banyak yang berada di kompleks Universitas Brawijaya Kota Malang. Gedung ini memiliki 10 lantai dengan 1 lantai basement, dimana 2 lantai pertama berbentuk podium dan lantai – lantai selanjutnya berupa tower. Orientasi utama pada gedung ini cenderung mengarah ke utara, meski tidak secara frontal menghadap ke sisi utara.

Permasalahan yang ditemukan pada bangunan ini adalah kondisi ruang – ruang yang terdapat di bangunan ini cenderung boros energi. Pemborosan energi yang paling terlihat disini adalah penggunaan lampu pada pagi hari meski terdapat potensi bukaan alami yang tersedia. Bahkan, bukaan yang ada di ruang kerja justru dilapisi kaca film yang dapat menghalangi cahaya matahari untuk masuk lebih lanjut kedalam bangunan. Selain itu, terdapat ruangan – ruangan didalam gedung yang tidak berhubungan langsung dengan *outdoor* sehingga tidak memungkinkan untuk sepenuhnya bergantung dengan pencahayaan alami.

Modifikasi yang dilakukan pada bangunan selama proses penelitian ini adalah modifikasi bukaan dan pembayang. Modifikasi bukaan memiliki tujuan untuk memasukkan terang langit lebih kedalam bangunan untuk menurunkan penggunaan lampu diwaktu – waktu yang tidak diperlukan. Sedangkan modifikasi pembayang memiliki tujuan utama untuk mencegah *glare* dan panas agar tidak masuk kedalam bangunan, sehingga *cooling load* dari *solar heat gain* dapat berkurang yang berujung dengan berkurangnya energi yang digunakan. Pada intinya, semua modifikasi yang dilakukan di penelitian ini memiliki tujuan utama untuk penghematan energi.

Hasil dari modifikasi bukaan dan pembayang yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan adanya perubahan – perubahan tersebut, tingkat konsumsi energi pada bangunan dapat ditekan. Intensitas Penggunaan Energi pada bangunan dapat berkurang sebesar 3,97 kWh / m² / tahun. Dengan menurunnya intensitas tersebut, setiap bulannya bangunan dapat menghemat sekitar Rp. 2.164.763,51. Dan modal dari renovasi rekomendasi desain ini bisa dibalik modalikan dalam kurun waktu 6 tahun 4 bulan.

Sebenarnya, potensi penghematan energi pada bangunan ini masih sangat besar, mulai dari penggunaan lampu yang memiliki tingkat efisiensi tinggi, penggunaan sistem

HVAC yang lebih rendah energi bisa mengurangi penggunaan energi hingga 31.37 kWh/m²/tahun, diterapkannya *Daylight Control* beserta *Occupancy Control* dengan menggunakan sensor dapat mengurangi hingga -8.10 kWh/m²/tahun, dan lain – lain.

5.2 Saran

Selama proses penelitian ini dilaksanakan, terdapat banyak kekurangan baik mulai dari alat, metode, hingga hasil yang didapat dari penelitian ini. Kekurangan – kekurangan yang terjadi di penelitian ini diharapkan dapat dijadikan batu loncatan, bahan pemikiran serta saran bagi pembaca pada umumnya. Berikut saran – saran yang diberikan kepada pihak terkait beserta kendala – kendala dan kekurangan dalam penelitian ini:

1. Pihak Akademisi

- a. Perhitungan penggunaan energi yang dilakukan di penelitian ini belum termasuk perhitungan *cooling load* yang detail, hanya dampak dari *solar heat gain* saja, sehingga penurunan suhu secara riil dapat diketahui secara lebih detail.
- b. Dalam melakukan analisis penghematan energi, masih terdapat banyak faktor – faktor yang dapat dihitung dan dipertimbangkan lebih jauh, seperti efek dari material atap dan dinding yang terpapar matahari langsung terhadap energi yang dibutuhkan untuk menanggulangi panas yang masuk tersebut.
- c. Simulasi *daylighting* seharusnya dapat dilakukan setiap bulan dan di setiap jenis ruangan yang terdapat didalam bangunan, sehingga alur performa bukaan dan pembayang dapat dinilai secara lebih akurat.
- d. Modifikasi tata lampu seharusnya juga dilakukan pada tiap – tiap ruang, tidak digeneralisir melalui ‘jenis’ ruang.

2. Pihak Universitas Brawijaya

Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini, temuan yang didapat, yaitu dampak dari perancangan bukaan dan pembayang secara optimal, dapat dijadikan patokan dalam baik perancangan gedung – gedung baru di Universitas Brawijaya, maupun renovasi gedung – gedung lama, khususnya yang memiliki konsep *self-shading* dan berorientasi timur-barat. Jika penelitian ini diterapkan pada gedung yang tidak memiliki konsep *self-shading*, maupun pada gedung yang berorientasi utara-selatan, IKE gedung

tersebut akan lebih besar, namun dampak yang dihasilkan juga akan lebih besar, namun perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk benar – benar memastikan dampaknya.

Diharapkan juga perancang gedung – gedung tersebut dapat lebih mempertimbangkan penggunaan energi pada bangunan, dan tidak hanya memikirkan efisiensi ruang dan biaya pembangunan, namun pada akhirnya pada jangka panjang biaya yang dibutuhkan untuk energi bangunan melebihi penghematan yang dilakukan pada biaya pembangunan.



DAFTAR PUSTAKA

Lechner, N. 2015. *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Method for Architects, 4th Edition*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Ching, F.D.K. 2014. *Building Construction Illustrated, 5th Edition*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

A, Katili. 2015. "Space Cooling in Buildings in Hot and Humid Climates – a Review of the Effect of Humidity on the Applicability of Existing Cooling Techniques" dalam 14th International Conference on Sustainable Energy Technologies – SET 2015. Nottingham, UK.

L, Perez-Lombard, J. Ortiz, dan C. Pout. 2008. "A review on buildings energy consumption information" dalam *Energi Build* Vol. 40 (Hlm. 394 – 398).

BASIX (Building Sustainability Index). 2017. Heating and Cooling Loads. <https://www.basix.nsw.gov.au/iframe/thermal-help/heating-and-cooling-loads.html>. Diakses pada 23 November 2017.

ASHRAE. 2001. *ASHRAE HVAC 2001 Fundamentals Handbook*. Amer Soc of Heating, Refrigerating & A-C Engineers.

K. Alghoul dkk. 2011. "Perspectives of double skin facade systems in buildings and energy saving" dalam *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (3) (Hlm. 1468–1475).

Autodesk. 2018. What is BIM. <https://www.autodesk.com/solutions/bim>. Diakses pada 27 Februari 2018.

ASHRAE. 2009. Introduction to BIM, 4D and 5D. <https://atgusa.com/ashrae-introduction-to-bim-4d-and-5d/>. Diakses pada 27 Februari 2018.

Rahmani Asl, Mohammad, Saied Zarrinmehr, dan Wei Yan. 2013. "Towards BIM-based Parametric Building Energy Performance Optimization" dalam *ACADIA 13* (Hlm 101 – 108).

Ossen, Dilshan R., Mohd Hamdan Ahmad, dan Nor Haliza Madros. 2005. "Optimum Overhang Geometry for Building Energy Saving in Tropical Climate" dalam *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 4(2) (Hlm. 563 – 570).



1077 / 16/8
UHCL

Nomor : 747/UN10.F07.15.11/PP/2017

9 Agustus 2017

Lampiran : -

Hal : Permohonan Data / survei

Yth. Kepala Biro Umum & Kepegawaian
Universitas Brawijaya
Jl. Veteran
Malang

Bersama ini kami hadapkan mahasiswa Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, sebagai berikut :

Nama : Janitra Erlangga

NIM : 145060501111041

HP : 081333833573

Mahasiswa tersebut memerlukan data sebagai kelengkapan persyaratan mata kuliah : Seminar Arsitektur

Judul Tugas : Audit Energi untuk Efisiensi Konsumsi Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya

Untuk maksud tersebut, dengan ini Kami memohonkan ijin mendapat data yang diperlukan.

Data yang diperlukan adalah :

- Pengambilan gambar / foto baik interior maupun eksterior Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya

Waktu pengambilan data : Agustus – September 2017

Atas bantuan dan perhatian Saudara, diucapkan terima kasih.



AGUNG MURTI NUGROHO, ST., MT., Ph.D

NIP. 19740915 200012 1 001

Tembusan :

1. Ketua Jurusan Arsitektur
2. LPPM
3. LP3M
4. Mahasiswa yang bersangkutan

kanbag RT
- Dibantu

Karya Cipta C

Dibantu & difasilitasi
7/8/17

Am 8/17
Ca. Geaney
Bouly P. 8/17





Rekayasa Buka-an dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama

Janitra Erlangga
145060501111041
Arsitektur FT-UB '14
MK. Skripsi 2017/2018



TUJUAN

Untuk memberikan rekomendasi desain di elemen bukaan maupun pembayang pada bangunan sebagai bentuk penghematan energi.

Dapat dicapai dengan merekayasa elemen-elemen tersebut sehingga beban pencahayaan dan penghawaan bangunan berkurang, yang berdampak pada konsumsi energi bangunan.

Tahapan Penelitian

OBSERVASI AWAL (Agustus 2017)

Melakukan observasi visual dan wawancara terbuka terhadap penghuni bangunan, dengan tujuan untuk mengidentifikasi masalah yang terdapat pada bangunan.

PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA (Februari 2018)

- Dari data fisik yang diambil pada tahap sebelumnya, diolah menjadi model 3D yang dibuat melalui Autodesk Revit.
- Data lingkungan (suhu dan cahaya) yang telah diambil digunakan sebagai dasar validasi software, sehingga model 3D yang telah dibuat dapat dilakukan perubahan.
- Setelah tervalidasi, elemen - elemen bangunan yang terpilih sebagai variabel bebas mulai dirombak sesuai dengan parameter - parameter dan standar yang telah ditentukan.
- Simulasi ini dilakukan sampai ditemukannya titik optimal pada elemen - elemen terpilih.



Autodesk Revit



Autodesk Insight

PENGUMPULAN DATA

(Akhir Januari - Awal Februari 2018)

- Melakukan pengukuran fisik bangunan (besar bangunan, ukuran dan letak bukaan dan pembayang), menggunakan meteran.
- Melakukan pengukuran suhu dalam dan luar bangunan, menggunakan thermohygrometer.
- Melakukan pengukuran intensitas cahaya dalam dan luar bangunan, menggunakan luxmeter.
- Mencari data radiasi matahari dari BMKG Malang.



Thermohygrometer



Luxmeter

Pengukuran pada bangunan dilakukan pada 3 waktu, yaitu pagi, siang, dan sore (pukul 09.00, 12.00, 15.00)

EVALUASI

Dari beberapa rekomendasi desain yang dilakukan pada tahap sebelumnya, dievaluasi kembali secara aspek tingkat penghematan energinya, kemungkinan diterapkannya, maupun secara aspek finansialnya.



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ARSITEKTUR

Jl. Mayjend Haryono No. 167 MALANG 65145 Indonesia
Telp. : +62-341-567486 ; Fax : +62-341-567486
<http://arsitektur.ub.ac.id> E-mail : arsftub@ub.ac.id

Nomor : 027 /UN10.F07.15.11/PP/2018
Lampiran : -
Hal : Permohonan Data / survei

10 Januari 2018

Yth. Kepala Biro Umum & Kepegawaian
Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono
Malang

Bersama ini kami hadapkan mahasiswa Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, sebagai berikut :

Nama : Janitra Erlangga
Nim : 145060501111041
HP : 081333833573

Mahasiswa tersebut memerlukan data sebagai kelengkapan persyaratan mata kuliah : Skripsi

Judul Tugas : **Rekayasa Bukaan dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya Malang**

Untuk maksud tersebut, dengan ini Kami memohonkan ijin mendapat data yang diperlukan.

Data yang diperlukan adalah :

- Pengambilan gambar / foto baik interior maupun eksterior Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya.
- Pengambilan data fisik bangunan dan elemennya, baik berupa ukuran maupun peletakan elemen bangunan itu sendiri.
- Pengambilan data suhu dan intensitas cahaya pada ruangan – ruangan didalam bangunan serta diluar bangunan.
- Data – data terkait lainnya.

Waktu pengambilan data : Januari – Februari 2018

Atas bantuan dan perhatian Saudara, diucapkan terima kasih.

Ketua Program Studi Sarjana Arsitektur

Ir. Heru Sufianto, M. Arch.St., Ph.D.
NIP. 19650218 199002 1 001

Tembusan :

1. Ketua Jurusan Arsitektur
2. LPPM
3. LP3M
4. Mahasiswa yang bersangkutan





KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ARSITEKTUR

Jl. Mayjend Haryono No. 167 MALANG 65145 Indonesia
Telp. : +62-341-567486 ; Fax : +62-341-567486
<http://arsitektur.ub.ac.id> E-mail : arsftub@ub.ac.id

US-2a

BERITA ACARA REVISI UJIAN SKRIPSI

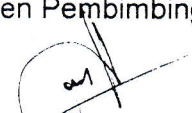
Nama Mahasiswa : Janitra Erlangga NIM. 145060501111041
Judul Skripsi : Rekayasa Bukaan dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya
Periode : Semester Ganjil/Genap *) Tahun Akademik 2017 /2018
Dosen Pembimbing : Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D. NIP. 19740915 200012 1 001

Telah dievaluasi dengan catatan revisi skripsi sebagai berikut :

NO.	CATATAN REVISI PEMBIMBING
1.	Tambahan dan ketepatan teori
2.	penjelasan tentang default perkhondisian buatan.
3.	profil konsumsi energi di existing. IT AC Cahaya. ↗
4.	Ike existing perlu dijelaskan kembali dimana

Malang,

Dosen Pembimbing


Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19740915 200012 1 001
Catatan:

- *) Coret yang tidak perlu
- satu kopi untuk mahasiswa





KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ARSITEKTUR

Jl. Mayjend Haryono No. 167 MALANG 65145 Indonesia
Telp. : +62-341-567486 ; Fax : +62-341-567486
<http://arsitektur.ub.ac.id> E-mail : arsftub@ub.ac.id

US-2b

BERITA ACARA REVISI UJIAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Janitra Erlangga NIM. 145060501111041
Judul Skripsi : Rekayasa Bukaan dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya
Periode : Semester Ganjil/Genap *) Tahun Akademik 2017 /2018
Dosen Pembimbing : Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D. NIP. 19740915 200012 1 001

Telah dievaluasi dengan catatan revisi skripsi sebagai berikut :

NO.	CATATAN REVISI PENGUJI
1.	Latar belakang → perjelas area mana yg glare & area yg gelap .
2.	Referensi jenis bukaan → seharusnya jendela/ bukaan pencahayaan alami , bukan ventilasi alami (hal 11-12)
3.	Tambahkan perbaikan ² & tambahan di ppt ke nastah .
4.	Perjelas keterangan perhitungan rupiah penghematan listrik.
5.	Tambahkan visualisaii gedung secara keseluruhan
	u/desisting & rekomendasi terbaik .

Malang,

Dosen Penguji

Wasiska Iyati

Wasiska Iyati, ST., MT.
NIP. 2013048705042001

6. lengkapi daftar pustaka .

7. kaitkan hasil simulasi radiasi / heat gain dg jenis jendela yg dipilih rekom.

Catatan:

- *) Coret yang tidak perlu
- satu kopi untuk mahasiswa





KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ARSITEKTUR

Jl. Mayjend Haryono No. 167 MALANG 65145 Indonesia
Telp. : +62-341-567486 ; Fax : +62-341-567486
<http://arsitektur.ub.ac.id> E-mail : arsftub@ub.ac.id

US-2b

BERITA ACARA REVISI UJIAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Janitra Erlangga NIM. 145060501111041
Judul Skripsi : Rekayasa Bukan dan Pembayang sebagai Strategi Penghematan Energi pada Gedung Layanan Bersama Universitas Brawijaya
Periode : Semester Ganjil/Genap *) Tahun Akademik 2017 /2018
Dosen Pembimbing : Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D. NIP. 19740915 200012 1 001

Telah dievaluasi dengan catatan revisi skripsi sebagai berikut :

NO.	CATATAN REVISI PENGUJI
-	cek di Newn
	-

Malang,

Dosen Penguji

Beta Suryokusumo S., ST., MT.
NIP. 19671217 200112 1 001

Catatan:

- *) Coret yang tidak perlu
- satu kopi untuk mahasiswa

